



SKRIPSI – TK 141581

**PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI
BIOLISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN
*MICROBIAL FUEL CELLS (MFCS)***

Oleh :

IBNU ROZI

NRP. 2315 105 012

HUDHA HABSHI

NRP. 2315 105 014

Dosen Pembimbing :

Dr.Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.

NIP. 19780506 200912 1 001

Dr.Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.

NIP. 19590730 198603 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TK 141581

**UTILIZATION OF LAPINDO MUD AS BIO-ELECTRICITY
USING MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)**

**By :
IBNU ROZI
NRP. 2315 105 012**

**HUDHA HABSHI
NRP. 2315 105 014**

**Advisor :
Dr.Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.
NIP. 19780506 200912 1 001**

**Dr.Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng.
NIP. 19590730 198603 2 001**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI BIOLISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN *MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs)*

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Kimia,
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Ibnu Rozi

(2315 105 012)

Hudha Habshi

(2315 105 014)

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Eng. R. Darmawan, S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng (Pembimbing II)
3. Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng. (Penguji I),
4. Ir. Nuniek Hendrianie, M.T. (Penguji II)
5. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. (Penguji III)



**PEMANFAATAN LUMPUR LAPINDO SEBAGAI
BIOLISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN *MICROBIAL
FUEL CELLS* (MFCS)**

Nama Mahasiswa : 1. Ibnu Rozi (2315105012)
2. Hudha Habshi (2315105014)
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknologi Industri

ABSTRAK

Kebutuhan dan ketergantungan manusia saat ini akan energi listrik sangat tinggi. Namun di lain sisi, bahan bakar fosil sebagai sumber energi yang tidak dapat diperbarui mulai terbatas. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi *microbial fuel cells* (MFCs). MFCs adalah perangkat yang menggunakan aktif mikroorganisme (bakteri) sebagai biokatalis untuk mengoksidasi kandungan organik dan anorganik dengan proses anaerobik untuk menghasilkan biolistrik. Teknologi ini mampu membuka peluang guna menyediakan sumber energi yang bisa diperbarui dan terjaga keberlanjutannya, karena memanfaatkan metabolisme secara alami dari mikroba untuk menghasilkan listrik. Selain itu, pemanfaatan lumpur Lapindo yang bernilai ekonomis murah bisa dipertimbangkan sebagai alternatif sumber energi (biolistrik), karena keberadaannya yang sangat melimpah dan dianggap sebagai sebuah bencana besar. Dengan adanya kandungan bahan organik yang ada dilumpur, maka dimungkinkan terdapat mikroorganisme yang mampu membantu untuk menghasilkan biolistrik, dimana organisme ini dikenal dengan sebagai *electricigens*. Pemanfaatan lumpur lapindo dengan menggunakan teknologi MFCs merupakan terobosan yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi yang semakin hari semakin

bertambah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi biolistrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur Lapindo dengan menggunakan MFCs, kemudian mengetahui kemampuan elektroda yang terbuat dari material Titanium (Ti) 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Nikel (Ni) 100 mesh dalam menghantarkan energi biolistrik dan memanfaatkan berlimpahnya lumpur lapindo sebagai substrat di dalam sistem MFCs. Hasil penelitian menunjukkan bahwa listrik yang dihasilkan dari tiga area A, B dan C yang masing-masing 163,83; 146,50 dan 149,50 Volt/m² untuk tegangan listrik dan 0,01; 0,01 dan 0,01 A/m² untuk arus listrik. Hal ini menunjukkan bahwa lumpur Lapindo yang diperoleh dari area A menunjukkan potensi tertinggi untuk menghasilkan listrik dibandingkan dengan lumpur yang diperoleh dari area B dan C. Pada penelitian di laboratorium, elektroda Ti 100 mesh dan penambahan MMY adalah elektroda yang terbaik untuk mencapai potensi biolistrik dengan tegangan listrik sebesar 86,63 Volt/m² dan arus listrik sebesar 0,005 A/m².

Kata kunci : MFCs, degradasi, lumpur Lapindo, biolistrik, *electricigens*

UTILIZATION OF LAPINDO MUD AS BIO-ELECTRICITY USING MICROBIAL FUEL CELLS (MFCS)

Name : 1. Ibnu Rozi (2315105012)
2. Hudha Habshi (2315105014)
Advisors : Dr. Eng. R. Darmawan, S.T., M.T.
Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng
Department : Chemical Engineering
Faculty : Industrial Technology

ABSTRACT

Nowdays, the human's needs and dependence on electrical energy are very high. On the other hand, fossil fuels as a non-renewable energy source are limited. One way to overcome this problem is by utilizing microbial fuel cells (MFCs) technology. MFCs are devices that actively use microorganisms (bacteria) as biocatalysts to oxidize organic and inorganic compounds with anaerobic processes to produce bio-electricity. This technology is able to open up opportunities to provide renewable and sustainable energy sources, because it utilizes the natural metabolism of microbes to produce electricity. In addition, the utilization of Lapindo mud which has cheap economic value can be considered as an alternative source of energy (bio-electricity), because its existence is very abundant and is considered as a major disaster. With the existing content of organic matter in the mud, it is possible the microorganism helps to generate bio-electricity and known as electricigens.. Utilization of Lapindo mud using MFCs is a breakthrough technology that promises to meet the growing of energy requirements each day. The purpose of this research is to know bio-electricity energy potential that can be obtained from utilization of Lapindo mud using MFCs, then to determine the ability of electrodes material that made from Titanium (Ti) 100 mesh, Carbon Cloth and Nickel

(Ni) 100 mesh in delivering bio-electricity energy and utilizing the abundance of Lapindo mud as a substrate within the MFCs system. The results showed that electricity generated from three areas A, B and C, respectively are 163.83; 146.50 dan 149.50 Volt/m² for electrical voltage and 0.01; 0.01 and 0.01 A/m² for electric current. It is invatigated that Lapindo mud obtained from area A shows the highest potential to generate electricity compared to that obtained from areas B and C. In the laboratory study, Ti 100 mesh electrodes with the addition of MMY are the best electrodes to achieve bio-electricity potential with the highest result of voltage is 86,63 Volt/m² and electric current is 0,005 A/m².

Keywords : MFCs, degradation, Lapindo mud, bio-electricity, electricigens

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya yang kepada kami semua. Sehingga kami dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul :

“Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Biolistrik Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells (MFCs)*”

Laporan Skripsi merupakan salah satu persyaratan yang harus dilalui mahasiswa Teknik Kimia FTI-ITS guna memperoleh gelar sarjana. Laporan skripsi ini kami susun berdasarkan aplikasi ilmu pengetahuan yang terdapat dalam literatur buku maupun data internet, khususnya di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.

Penulis menyadari dalam penyusunan proposal skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT
2. Orang tua dan keluarga atas segala kasih sayang, kesabaran, doa dan pengorbanan dalam mendidik dan membesarkan kami
3. Bapak Dr.Eng. R. Darmawan., ST., MT dan Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku dosen pembimbing kami.
4. Bapak Juwari, ST., M.Eng., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
5. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng selaku kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
6. Ibu Dr. Lailatul Qadariyah., ST., M.T selaku koordinator Tugas Akhir dan Skripsi Departemen Teknik Kimia FTI-ITS
7. Bapak Prof. Dr. Ir. Arief Widjaja, M.Eng, Ibu Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. dan Ibu Ir. Nuniek Hendrianie, M.T., selaku dosen penguji .

8. Seluruh dosen dan karyawan yang ada di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
9. Rekan-rekan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri serta angkatan LJ Ganjil 2015 yang telah memberikan saran, motivasi, serta ilmu yang tidak putus-putusnya kepada kami.
10. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan laporan skripsi ini.

Kami menyadari bahwa masih banyak hal yang perlu diperbaiki dalam tugas ini, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Manfaat Penelitian.....	4
I.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 <i>Microbial Fuel Cells (MFCs)</i>	5
II.2 Jenis-jenis <i>MFCs</i>	8
II.3 Mikroba yang digunakan dalam <i>MFCs</i>	11
II.4 Pengembangan <i>MFCs</i>	13
II.5 Karakteristik Lumpur Lapindo	15
II.6 Penelitian Terdahulu.....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	18
III.2 Variabel Penelitian	18
III.3 Bahan dan Alat.....	18
III.4 Metode Penelitian	19
III.5 Diagram Alir Penelitian	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil Penelitian	25
IV.2 Pembahasan Penelitian.....	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	57
V.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	xii

DAFTAR NOTASI	xvii
APPENDIKS A	A-1
APPENDIKS B	B-1
APPENDIKS C	C-1
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Diagram MFCs yang terdiri anoda sebagai akseptor elektron untuk oksidasi mikroba secara anaerobik	5
Gambar II.2	Skema diagram dua elektroda dilengkapi dengan PEM	7
Gambar II.3	MFCs dengan dua chamber yang memproduksi listrik melalui transfer elektron ke anoda	7
Gambar II.4	Deret Volta	8
Gambar II.5	<i>Single-Chamber MFCs</i>	9
Gambar II.6	<i>Double-Chamber MFCs</i>	9
Gambar II.7	<i>Soil Based MFCs</i>	10
Gambar II.8	<i>Phototrophic Biofilm PBMFCs</i>	10
Gambar II.9	<i>Nanoporous MembraneMFCs</i>	11
Gambar II.10	<i>Reticulated Vitreous Carbon (RVC)</i> dengan ukuran pori yang berbeda (a) 10 mesh, (b) 20 mesh dan (c) 45 mesh	14
Gambar II.11	(a) <i>Graphite Plate</i> atau batang (b) Lembar Karbon	14
Gambar III.1	Tahapan pelapisan material bahan 100 mesh dengan <i>carbon paste</i>	20
Gambar III.2	Pengukuran Potensi Listrik Menggunakan Multitester	21
Gambar III.3	Alat Analisa dan Pengukuran : (a) Konduktometer (b) Mikroskop dan <i>haemacytometer</i>	22
Gambar III.4	Area penanaman elektroda di Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo terdiri dari : titik (A), titik (B), dan titik (C)	22
Gambar IV.1	Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu di area penanaman elektroda	28

Gambar IV.2	Perbandingan antara arus listrik dan waktu di area penanama elektroda	29
Gambar IV.3	Perbandingan antara <i>power density</i> dan waktu di area penanaman elektroda	30
Gambar IV.4	Perbandingan antara tegangan dan waktu pada semua variabel	34
Gambar IV.5	Perbandingan antara suhu dan waktu pada semua variabel	38
Gambar IV.6	Jumlah bakteri pada elektroda Ti 100 mesh dengan penambahan MMY dan Non-MMY.....	39
Gambar IV.7	Jumlah bakteri pada elektroda <i>Carbon Cloth</i> dengan penambahan MMY dan Non-MMY.....	40
Gambar IV.8	Jumlah bakteri pada elektroda Ni 100 mesh dengan penambahan MMY dan Non-MMY....	40
Gambar IV.9	Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ti 100 mesh murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x	44
Gambar IV.10	Hasil analisa SEM dan EDX pada elektroda Ti 100 mesh dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x	45
Gambar IV.11	Hasil analisa SEM dan EDX elektroda <i>Carbon Cloth</i> murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x ..	47
Gambar IV.12	Hasil analisa SEM dan EDX elektroda <i>Carbon Cloth</i> dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada	

	perbesaran 3000x	48
Gambar IV.13	Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ni 100 mesh murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x	49
Gambar IV.14	Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ni 100 dengan MMY yang telah ditanam hingga minggu ke-4. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spectrum EDX pada perbesaran 3000x	50
Gambar IV.15	Hasil analisa SEM dan EDX pada elektroda Ni 100 mesh dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.....	52

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Bakteri yang digunakan di <i>MFCs</i>	12
Tabel II.2 Bahan material yang digunakan untuk menyusun <i>MFCs</i>	13
Tabel II.3 Karakteristik Lumpur Lapindo	15
Tabel IV.1 Hasil penelitian data TDS, EC, pH, Suhu dan jumlah bakteri pada area sampel	25
Tabel IV.2 Hasil pengukuran data tegangan, arus listrik dan <i>power density</i> pada area A, B dan C	25
Tabel IV.3 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh pada nutrien MMY dan Non- MMY	26
Tabel IV.4 Hasil pengukuran elektroda <i>Carbon Cloth</i> pada nutrien MMY dan Non-MMY	27
Tabel IV.5 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 Mesh pada nutrien MMY dan Non-MMY	27
Tabel IV.6 Hasil Uji BOD ₅ , COD dan TOC Lumpur Lapindo pada t_0 dan t_{10}	41
Tabel IV.7 Hasil uji SEM-EDX logam Ni 100 mesh terdiri dari Ni t_0 , Ni t_4 (lokasi sampel) dan Ni t_{10} (laboratorium)	53
Tabel IV.8 Hasil uji SEM-EDX logam Ti 100 mesh terdiri dari Ti t_0 dan Ti t_{10} (laboratorium)	54
Tabel IV.9 Hasil uji SEM-EDX logam <i>Carbon Cloth</i> terdiri dari <i>Carbon Cloth</i> murni <i>Carbon Cloth</i> t_{10} (laboratorium)	55
Tabel IV.10 Hasil Spektrum EDX penurunan persen berat unsur pada t_0 dan t_{10}	55

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Listrik merupakan energi utama yang dibutuhkan dalam kehidupan manusia. Hal ini dapat dipastikan bahwa semua teknologi sangat membutuhkan dan bergantung pada energi ini. Perkembangan dalam memperoleh sumber energi listrik sampai saat ini masih terus berlangsung dengan harapan ketersediaan listrik dapat dijaga. Energi berbahan fosil yang selama ini sering digunakan dalam pemenuhan energi listrik semakin lama semakin berkurang. Dengan kondisi seperti ini, maka permintaan pertumbuhan energi secara cepat telah membuka peluang untuk menggantikan sumber energi berbasis fosil dengan sumber energi yang bisa diperbarui dan bersifat terus-menerus (*sustain*). Banyak teknologi yang sedang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan akan energi. Salah satu teknologi yang paling menjanjikan adalah *bio electrochemical systems (BESs)*.

BESs adalah sebuah sistem yang dimana mikroorganisme berinteraksi dengan elektrode menggunakan elektron yang dilepas atau disuplai (elektron transfer) melalui sirkuit elektrik. Tipe *BESs* yang paling banyak digunakan adalah *microbial fuel cells (MFCs)*. *MFCs* adalah perangkat yang mengubah energi yang tersimpan dalam ikatan kimia dalam senyawa organik menjadi energi listrik (Du Zhuwei dkk, 2008).

Sistem *MFCs* ini akan memanfaatkan hasil dari proses metabolisme bakteri. Bakteri akan melakukan metabolisme dengan mengurai glukosa menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Hidrogen merupakan bahan baku yang digunakan untuk reaksi reduksi dengan oksigen,

sehingga melepaskan elektron pada anoda sebagai sumber arus listrik. Apabila dibandingkan dengan baterai yang hanya mampu mengandung material bahan bakar yang terbatas, MFCs dapat secara kontinyu diisi molasses atau glukosa untuk diuraikan oleh bakteri menjadi bahan bakar (hidrogen). MFCs menawarkan kemungkinan – kemungkinan menghasilkan lebih dari 90 % elektron dari komponen organik dan dapat bersifat bisa diperbarui dan berkelanjutan ketika jumlah mikroorganisme meningkat dapat mengkonversi energi dari transfer elektron ke elektroda. MFCs memanfaatkan mikroba yang dapat mengoksidasi sumber-sumber material yang rendah nilai ekonomisnya seperti sampah organik, bahan-bahan organik di tanah dan di endapan (lumpur) (Davis dan Higson, 2007).

Selama 40 tahun terakhir para peneliti telah menunjukkan bahwa MFCs dapat dikembangkan untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai generator listrik dan menyalakan barang-barang seperti perangkat elektronik portabel pada perahu, mobil, perangkat elektronik dalam ruangan dan robot. Bidang lain yang menarik adalah pengembangan skala besar MFCs untuk konversi limbah dan sampah organik lainnya untuk listrik dan bioremediasi lingkungan tercemar. Namun, tidak satupun dari aplikasi ini dapat digunakan secara praktis. Saat ini, MFCs dapat menghasilkan arus yang cukup untuk menyalakan perangkat elektronik kecil untuk jangka pendek atau pengisian acak kapasitor untuk aplikasi dengan kebutuhan daya yang lebih tinggi. Namun, ukuran dari MFCs mempersulit penggabungan ke dalam perangkat elektronik dimana dapat memasok listrik (Reddy dkk, 2010).

Banjir Lumpur Panas Sidoarjo atau Lumpur Lapindo merupakan peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi

pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 27 Mei 2006. Lumpur Lapindo di Sidoarjo tersusun atas 70% air dan 30% padatan (Usman dkk, 2006). Kadar garam (salinitas) lumpur sangat tinggi (38-40 %), sehingga bersifat asin (Arisandi, 2006). Berdasarkan hasil penelitian pada parameter kimia lumpur lapindo, diketahui bahwa nilai pH berkisar 6,6-7, kapasitas tukar kation (KTK) sebesar 3,89-35,42 (Me/100g), kadar air sebesar 40,41-60,73% dan kandungan total karbon organik sebesar 54,75-55,47% (Juniawan, 2013). Dengan masih adanya kandungan bahan organik di lumpur, maka dimungkinkan terdapat mikroorganisme yang mampu membantu untuk menghasilkan biolistrik, dimana organisme ini dikenal dengan *electricigens*. Mikroorganisme ini dapat mengoksidasi bahan – bahan atau komponen organik secara sempurna menjadi karbondioksida dengan elektroda sebagai penerima elektron dan mampu membantu untuk menghasilkan energi listrik dari terjadinya elektron transfer (Reddy dkk, 2010).

Berdasarkan hal-hal tersebut maka dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai biolistrik dengan menggunakan *MFCs*.

I.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang di atas, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana untuk mengetahui potensi energi biolistrik yang bisa dihasilkan dari lumpur Lapindo sebagai bahan organik menggunakan metabolisme alami mikroba dengan rangkaian alat *MFCs*.

2. Bagaimana pengaruh bahan elektroda yang terbuat dari material Titanium (Ti) 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Nikel (Ni) 100 mesh terhadap potensi energi biolistrik yang dihasilkan.
3. Berlimpahnya lumpur Lapindo yang banyak mengandung karbon organik sebagai substrat di dalam sistem *MFCs*.

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui potensi energi biolistrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur lapindo dengan menggunakan *MFCs*.
2. Mengetahui kemampuan elektroda yang terbuat dari material Titanium (Ti) 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Nikel (Ni) 100 mesh dalam menghantarkan energi biolistrik.
3. Memanfaatkan berlimpahnya lumpur Lapindo yang masih mengandung karbon organik sebagai substrat di dalam sistem *MFCs*.

I.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini diharapkan bisa memberikan data terkait dengan pemanfaatan lumpur lapindo untuk menghasilkan energi listrik dengan bantuan mikroorganisme pada rangkaian *MFCs*.
2. Hasil penelitian ini akan sangat membantu dalam pengembangan pemanfaatan lumpur Lapindo ke depan sebagai sumber alternatif untuk menghasilkan listrik.

3. Penggunaan jenis material elektroda (anoda dan katoda) dari Titanium (Ti) 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Nikel (Ni) 100 mesh juga akan bermanfaat sebagai pertimbangan dalam pemilihan bahan elektroda untuk pengembangan penelitian ke depan.

I.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Jenis *Soil Based MFCs* digunakan sebagai rangkaian *MFCs*.
2. Elektroda yang digunakan berupa material Ti 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Ni 100 mesh.
3. Eksternal resistor yang digunakan dalam pengukuran sebesar 1 K Ω
4. Substrat yang digunakan berasal dari bahan organik/anorganik yang terkandung di lumpur Lapindo serta dengan penambahan MMY (Minimum Medium dengan Yeast).
5. Mikroba yang terlibat merupakan *indigenous microbes* dari lumpur Lapindo.

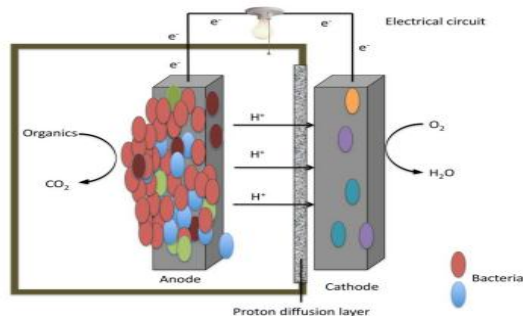
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Microbial Fuel Cells (MFCs)

Microbial fuel cells yang juga dikenal sebagai *biological fuel cell* merupakan rangkaian peralatan yang dapat menggunakan mikroba untuk menghasilkan listrik. *MFCs* mempunyai dua elektroda dan area yang dipisahkan elektroda. Beberapa tipe bakteri tanah dapat membantu menghasilkan listrik biasa dikenal sebagai bakteri electricigens (elektrogenik), seperti *Shewanella species* yang dapat ditemukan di hampir semua tanah dan *Geobacter species* yang biasa hidup di lapisan tanah bagian dalam atau bahkan di bawah lautan. Bakteri jenis ini memakan apa yang ada di tanah seperti nutrisi-nutrisi mikroskopik dan glukosa kemudian memproduksi elektron yang dikeluarkan dan dikembalikan lagi ke tanah.

Elektron merupakan partikel subatomik yang bermuatan negatif dimana elektron ini digunakan untuk menghasilkan listrik. Elektron dihasilkan dari metabolisme secara natural yang terjadi di mikroorganisme. *MFCs* menghasilkan arus listrik melalui oksidasi bahan organik.

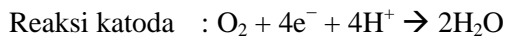
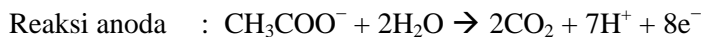


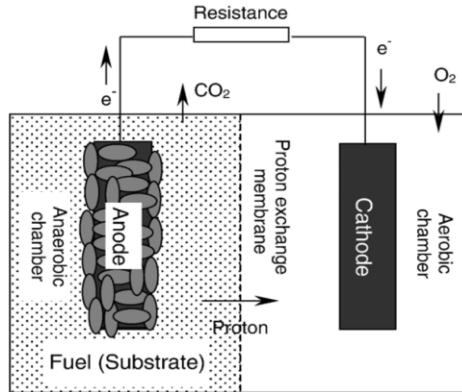
Gambar II.1 Diagram *MFCs* yang terdiri anoda sebagai akseptor elektron untuk oksidasi mikroba secara anaerobik (Ashley dkk, 2010)

Di alat MFCs ini terjadi metabolisme substrat organik oleh mikroorganisme dan secara ekstraselular terjadi transfer elektron ke permukaan elektroda. Oksidasi dari material organik melepaskan elektron dan proton dari substrat yang teroksidasi. Elektron yang ditransfer ke anoda dan kemudian ke katoda melalui sebuah jaringan elektrik. Proton berpindah ke katoda dan bergabung dengan elektron dan katolite (oksigen) yang berkurang pada permukaan katoda. Aliran listrik ini dihasilkan seperti sebuah chemical fuel cell, tetapi aktifitas mikroba yang digunakan sebagai katalis terdapat di permukaan anoda. Secara umum, katalis dapat meningkatkan kecepatan reaksi tanpa merubah atau menerima energi dari reaksi yang dikatalisasi. Mikroba di MFCs bisa memperoleh semua karbon dan energi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan selular dari oksidasi bahan organik kompleks (Reddy dkk, 2010).

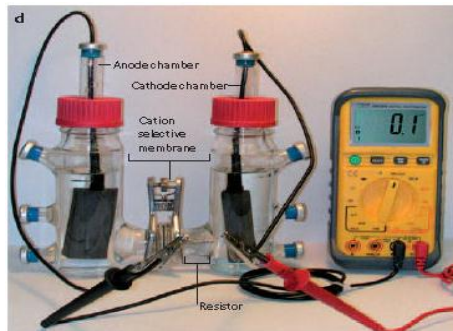
Mikroba mengoksidasi substrat pada anoda untuk menghasilkan elektron dan proton, serta karbondioksida dikeluarkan sebagai hasil dari produk oksidasi. Setelah melewati proton exchange membrane (PEM) atau jembatan garam, proton masuk ke chamber katoda, dimana mereka menggabungkan dengan oksigen menjadi air (H_2O) (Reddy dkk, 2010). Mikroba di chamber anoda memaksa elektron dan proton saat proses disimilasi dengan mengoksidasi substrat - substrat organik. Misalkan substratnya berupa asetat, maka reaksi – reaksi yang terjadi sebagai berikut :

mikroba





Gambar II.2 Skema diagram dua elektroda yang dilengkapi dengan PEM (Du dkk, 2007)



Gambar II.3 MFCs dengan dua chamber yang memproduksi listrik melalui transfer elektron ke anoda (Lovely, 2006)

Anoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi reduksi, dan di dalam sel volta anoda disebut sebagai elektroda positif. Sedangkan katoda adalah elektroda dimana terjadi reaksi oksidasi, dan di dalam sel volta anoda disebut sebagai elektroda negatif (Silberberg dan Amateis, 2015). Luigi Galvani (1780) dan Alessandro Volta (1800) telah menemukan terbentuknya arus listrik dari reaksi kimia. Reaksi kimia yang terjadi merupakan reaksi redoks (reduksi dan oksidasi) dan alat ini disebut sel volta.

Gambar II.4 Deret Volta

Pada Deret Volta, unsur logam dengan potensial elektroda lebih negatif ditempatkan di bagian kiri, sedangkan unsur dengan potensial elektroda yang lebih positif ditempatkan di bagian kanan. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret tersebut, maka logam semakin reaktif (semakin mudah melepas elektron) dan reduktor yang semakin kuat (mudah mengalami oksidasi).

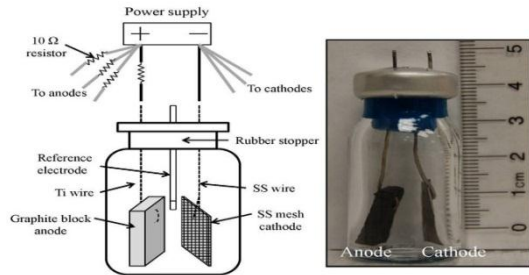
Logam Ni memiliki nilai potensial standar sebesar -0,25 berada disebalah kiri unsur |H| dan logam Ti memiliki nilai potensial standar sebesar +1.25 berada di sebelah kanan unsur |H| (Greenwod, 1997). Faktor-faktor yang dipertimbangkan ketika memilih bahan elektroda adalah stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektivitas produk yang akan terbentuk, konduktivitas listrik, ketahanan dan harga faktor, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Artadi, 2007).

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan faktor-faktor yang mempengaruhi proses elektrolisis yaitu kerapatan arus listrik, waktu, tegangan, kadar keasaman (pH), ketebalan plat dan jarak antar elektroda (Wiharti dkk, 2014).

II.2 Jenis-jenis MFCs

II.2.1 Single Chamber MFCs

Single Chamber MFCs adalah jenis *MFCs* dengan menggunakan satu chamber dengan elektroda didalamnya, letak anoda didasar chamber sedangkan letak katoda di permukaan chamber. *MFCs* dengan jenis Single-Chamber sangat sederhana dan lebih ekonomis (Ringeisen dkk, 2006).



Gambar II.5 *Single-Chamber MFCs* (Bruce, 2011)

II.2.2 *Double Chamber MFCs*

Double Chamber MFCs adalah desain paling sederhana di antara semua *MFCs* terdapat dua chamber anoda dan katoda. Untuk chamber anoda digunakan sebagai pembiakan mikroba yang menghasilkan elektron sedangkan pada chamber katoda dapat menggunakan larutan elektrolit aseptor elektron (Ringeisen dkk, 2006).

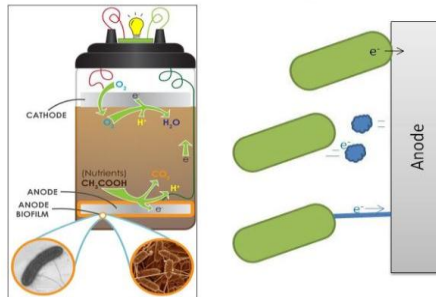


Gambar II.6 *Double-Chamber MFCs* (Logrono, 2013)

II.2.3 *Soil Based MFCs*

Soil Based MFCs atau dengan istilah lain yaitu sel bahan bakar berbasis tanah meliputi sistem *MFCs* dengan memanfaatkan tanah sebagai media tumbuhnya mikroba, elektroda anoda ditanam di dalam tanah dengan kedalaman tertentu dan katoda berada di permukaan tanah (Xubojun dkk, 2015).

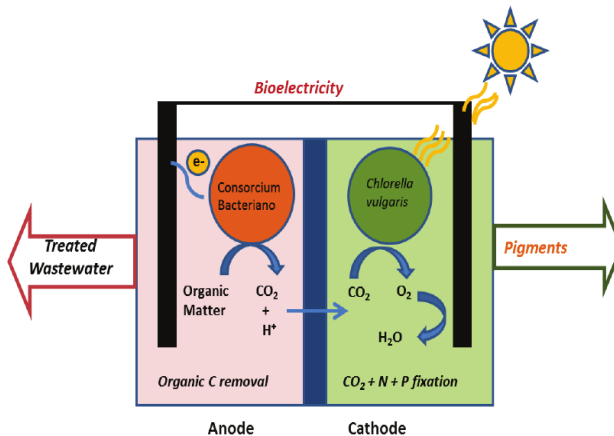
A soil-based microbial fuel cell



Gambar II.7 Soil Based MFCs (Xuboujun, 2015)

II.2.4 Phototrophic Biofilm PBMFCs

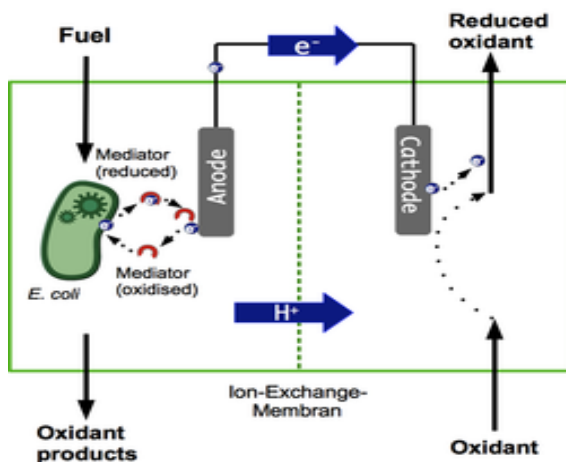
Phototrophic Biofilm PBMFCs yaitu sistem *MFCs* yang menggunakan fototrofik anoda biofilm yang mengandung mikroorganisme fotosintetik, seperti *chlorophyta* *candyanophyta*. Mereka melakukan fotosintesis dengan menghasilkan metabolit organik dan menyumbang elektron. Suatu penelitian menemukan bahwa *PBMFCs* menghasilkan daya yang cukup untuk aplikasi praktis. Sub-kategori fototrofik *MFC* yang murni menggunakan bahan fotosintesis oksigen pada anoda biasanya disebutkan pada sistem fotovoltik biologis (Strik dkk, 2011).



Gambar II.8 Phototrophic Biofilm PBMFCs (Luisa, 2015)

II.2.5 Nanoporous Membrane MFCs

Nanoporous Membrane MFCs adalah pengembangan dari sistem *MFCs* dengan memanfaatkan difusi pasif di dalam sel. Membran filter nonporous yang biasanya digunakan adalah nilon, selulosa dan polikarbonat. Untuk daya yang dihasilkan relatif stabil akan tetapi masih perlu dilakukan penelitian lanjutan agar dapat digunakan secara praktis (Biffinger dkk, 2007).



Gambar II.9 *Nanoporous Membrane MFCs* (Sunshine, 2014)

II.3 Mikroba yang digunakan dalam *MFCs*

Bakteri yang telah digunakan para peneliti dalam sistem *MFCs* adalah *Shewanella putrefaciens*, *Geobacteraceae sulferreducens*, *Geobacter metallireducens* dan *Rhodoferrax ferrireducens* (Du Zhuwei dkk, 2008). Selain itu salah satu bakteri yang juga dapat menghasilkan hidrogen adalah *Escherichia coli* atau *E. coli*.

Banyak mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk mentransfer elektron beserta substratnya yang dihasilkan dari metabolisme kandungan organik ke anoda seperti yang ditunjukkan pada **Tabel II.1** (Pant dkk, 2010).

Tabel II.1. Bakteri yang digunakan di *MFCs*

Microba	Substrat	Aplikasi
<i>Actinobacillus succinogenes</i>	Glukosa	Neutral red atau thionin sebagai mediator elektron
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Asetat	Mediator-less MFC
<i>gallinarum</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pati, glukosa	Bakteria fermentasi
<i>Clostridium beijerinckii</i>	Pati, glukosa,	Bakteria fermentasi
<i>Clostridium butyricum</i>	Starch, lactate, tetes	Sulphate/sulphide sebagai mediator
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	Sukrosa	Komplek ferric chelate sebagai mediator
<i>Escherichia coli</i>	Glukosa, sukrosa	Mediators seperti methylene blue
<i>Geobacter metallireducens</i>	Asetat	Mediator-less MFC
<i>Geobacter sulfurreducens</i>	Asetat	Mediator-less MFC
<i>Gluconobacter oxydans</i>	Glukosa	Mediator (HNQ, resazurin atau thionine) needed
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Glukosa	Komplek ferric chelate sebagai mediator
<i>Proteus mirabilis</i>	Glukosa	Thionin sebagai mediator
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Glukosa	Pyocyanin dan phenazine-1-carboxamide sebagai mediator
<i>Shewanella oneidensis</i>	Laktat	Anthraquinone-2,6-disulfonate (AQDS) sebagai mediator
<i>Shewanella putrefaciens</i>	Laktat, piruvat, asetat,	Mediator-less MFC tetapi menemani mediator elektron seperti Mn(IV)

	glukosa	atau NR menjadi anoda yang meningkatkan produksi listrik
<i>Streptococcus lactis</i>	Glukosa	Komplek ferric chelate sebagai mediator

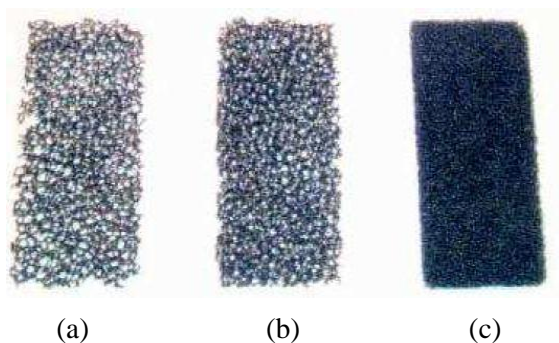
II.4 Pengembangan *MFCs*

Peralatan *MFCs* terdiri dari chamber anoda dan katoda dipisahkan oleh proton exchange membrane (PEM), seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar II.2**. Sedangkan komponen dan material penyusun *MFCs* (Lovely, 2006 dan Logan dkk, 2005), seperti **Tabel II.2**.

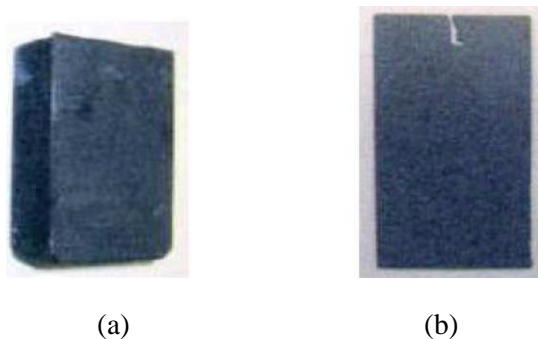
Tabel II.2 Bahan material yang digunakan untuk menyusun *MFCs*

Item	Bahan Material
Anoda	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>
Katoda	<i>Graphite, graphite felt, carbon paper, carbon-cloth, Pt, Pt black, RVC</i>
Anoda Chamber	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>
Katoda Chamber	<i>Glass, polycarbonate, Plexiglas</i>
Proton Exchange System	<i>Proton exchange membrane: Nafion, Ultrex, polyethylene.poly, (styrene-codivinyllbenzene); salt bridge, porcelain septum, atau solely electrolyte</i>
Electrode catalyst	<i>Pt, Pt black, MnO₂, Fe³⁺, polyaniline, mediator elektron immobilized pada anode</i>

Material anoda harus bersifat konduktif, biocompatible dan stabil secara kimiawi di dalam larutan reaktor. Logam anoda terdiri dari mesh non korosif dan tidak toxic. Material elektroda yang handal adalah karbon (Singh dkk, 2010), nikel dan titanium yang bisa dibuat seperti plate compact grafit, balok, granul dan karbon *glassy*.



Gambar II.10 Reticulated Vitreous Carbon (RVC) dengan ukuran pori yang berbeda (a) 10 mesh, (b) 20 mesh dan (c) 45 mesh (Singh dkk, 2010)



Gambar II.11 (a) Graphite Plate atau batang (b) Lembaran Karbon (Singh dkk, 2010)

II.5 Karakteristik Lumpur Lapindo

Banjir Lumpur Panas Sidoarjo atau lumpur Lapindo merupakan peristiwa menyemburnya lumpur panas di lokasi pengeboran PT Lapindo Brantas di Desa Renokenongo, Kecamatan Porong, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, sejak tanggal 27 Mei 2006. Lumpur Lapindo di Sidoarjo tersusun atas 70% air dan 30% padatan (Usman dkk, 2006). Kadar garam (salinitas) lumpur sangat tinggi (38-40 %), sehingga bersifat asin (Arisandi, 2006).

Berdasarkan analisis karakteristik dari lumpur Lapindo, diperoleh hasil menurut parameter fisik dan kimia yang ditunjukkan pada **Tabel II.3**.

Tabel II.3 Karakteristik Lumpur Lapindo

No	Parameter	Hasil
1	Fisik :	
	- Berat jenis (cm/cm^3)	1,25 – 2,35
2	Kimia :	
	- pH	6,6 - 7
	- KTK (NH_4OAC 1 N pH 7) (me/100g),	3,89-35,42
	- Pb (mg/L)	0,19-0,34
	- Cu (mg/L)	0,19-0,85
	- Kadar air (%)	40,41-60,7
	- C-Organik total (%)	54,75-55,47

(sumber : Juniawan, 2013)

II.6 Penelitian Terdahulu

Konsep awal *MFCs* digunakan sebagai biokatalis yang berpotensi menghasilkan energi listrik telah dikenalkan oleh Potter di tahun 1910, dimana bakteri yang bisa menghasilkan listrik adalah *Escherichia coli* and *Saccharomyces* dengan menggunakan elektroda platinum (Ieropolos, 2005). Namun, beberapa dekade terakhir microbial fuel cells (*MFCs*) secara intensif diteliti oleh banyak ilmuwan karena menawarkan sebuah solusi yang simultan untuk mengatasi masalah lingkungan dan untuk menghasilkan energi (Wang dkk, 2015).

Secara eksperimen, sistem ini dengan menggunakan open circuit voltage mampu menghasilkan energi listrik sekitar 0,7 – 0,8 V (Du dkk, 2007). Selain itu, berdasarkan publikasi yang ditulis oleh Logan dan Regan, 2006, menyatakan bahwa bakteri yang berpotensi mampu menghasilkan listrik beragam, yang didominasi oleh komunitas bakteri di sedimen yang terdiri α , β , γ atau δ – Proteobacteria, Firmicutes yang didefinisikan sebagai exoelectrogens, yaitu bakteri yang mampu mentransfer elektron secara exocellular.

Penelitian lainnya dilakukan pada tahun 2008 tentang pengaruh pertumbuhan biofilm anodik dan luas cakupan pada permukaan anoda dari satu Chambered mediatorless microbial fuel cells (*MFCs*) dievaluasi untuk bioelectricity menggunakan limbah sintetik dan air limbah kimia sebagai substrat dan campuran anaerobik consortium sebagai biokatalis. Tiga *MFCs* (elektroda grafit polos, katoda udara, membran nafion) yang dioperasikan secara terpisah dengan cakupan variabel biofilm [control; cakupan permukaan anoda (ASC), 0%], biofilm [PDB; ASC ~44%; 90 hari dan FDB; ASC ~96%; 180 hari] dalam kondisi acidophilic (pH 6) pada suhu kamar. Studi ini menggambarkan efektifitas pembentukan biofilm anodik dalam meningkatkan transfer elektron ekstraselular dengan tidak adanya mediator. Biofilm *MFCs* terbukti memiliki potensi untuk mendukung pertumbuhan bakteri electrogenic dengan karakteristik yang kuat dan juga mampu menghasilkan hasil

kekuatan yang lebih tinggi bersama dengan degradasi substrat terutama dioperasikan dengan air limbah sebagai substrat (Mohan dkk, 2008). Microbial fuel cells (*MFCs*) diinokulasi dengan lumpur anaerobik dan diberi empat substrat yang berbeda selama lebih dari satu tahun. Coulombic efficiency (CE) dan daya bervariasi dengan substrat yang berbeda, sedangkan viabilitas bakteri serupa. Acetate-fed-MFC menunjukkan CE tertinggi (72,3%), diikuti oleh butirat (43,0%), propionat (36,0%) dan glukosa (15,0%) (Jung Chae dkk, 2009).

Pada tahun 2013 Campo meneliti tentang pengaruh chemical oxygen demand (COD) dan suhu stress-tests pada microbial fuel cells (*MFCs*). Variabel suhu stress-tests antara 20 dan 40 °C dengan kenaikan bertahap 5 °C. Dari penelitian ini didapatkan bahwa peningkatan eksponensial pada arus yang terjadi (Campo dkk, 2013).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia-Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada bulan Februari-Mei 2017.

III.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari :

1. Jenis Material Elektroda
Pada penelitian ini digunakan logam Ti dan Ni 100 mesh serta *Carbon Cloth* (Carbon felt GF-20)
2. Jenis Medium
 - a. MMY (Minimum Medium dengan Yeast)
 - b. Non MMY sebagai kontrol negatif (hanya lumpur)

III.3 Bahan dan Alat

III.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah elektroda logam Ti (titanium) 100 mesh (Nilaco, Tokyo, Jepang), logam Ni (nikel) 100 mesh (Nilaco, Tokyo, Jepang), *Carbon Cloth* (Carbon felt GF-20 TMIL Ltd.), Poly(vinylidene fluoride), N-Methyl-2-pyrrolidinone, Carbon powder (KB 600) (Gemmy Industrial Corp, Taiwan), NaOH (Merck), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Merck), aquadest, Na_2HPO_4 (Merck), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Merck), NH_4NO_3 (Merck), $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Merck), K_2HPO_4 (Merck), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), CaCl_2 (Merck), yeast, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck), CaCl_2 (Merck).

III.3.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pengukuran potensi energi listrik adalah multitester yang dilengkapi dengan rangkaian alat resistor. Sedangkan alat yang dipakai dalam analisa jumlah bakteri yaitu *haemocytometer* dan mikroskop dengan perbesaran 400x. Alat pendukung lainnya yang digunakan meliputi solder, autoclave, hot plate, tabung reaksi (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), labu ukur (Herma), botol winkler, DO-meter, corong kaca, pipet tetes, beaker glass (Pyrex), erlenmeyer (Pyrex), oven, spatula, *centrifuge Type-Fisher*.

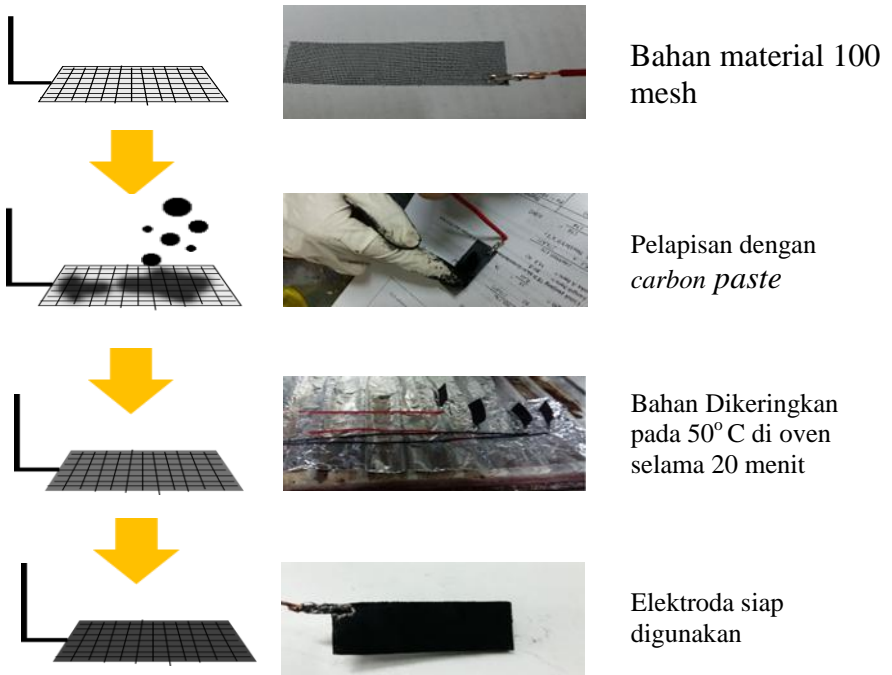
III.4 Metode Penelitian

III.4.1 Pembuatan Media Minimum Medium (MM) Dengan Yeast

1 g NH_4NO_3 ; 1 g KH_2PO_4 ; 1,3 g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,008 g CaCl_2 ditimbang lalu dilarutkan dalam 1 liter aquadest. Media ditambah dengan 0,1% (w/v) dari ekstrak yeast dan glukosa. Media di tambahkan larutan NaOH 0,5 mol/L hingga mencapai akhir yaitu pH 7. Media yang telah dibuat disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C dan 15 psig selama 15 menit.

III.4.2 Tahap Persiapan Elektroda

Logam Ni/Ti 100 mesh dan *Carbon Cloth* di potong dengan ukuran 2 cm x 5 cm. Untuk logam Ni/Ti 100 mesh disayat pada sudut logam agar dapat dihubungkan dengan kabel kemudian disolder agar kabel dan logam menyatu. Untuk *Carbon Cloth* direkatkan dengan lem Araidat. Pembuatan *carbon paste*, 0,15 g poly(vinylidene fluoride) ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer lalu ditambahkan 6 ml N-Methyl-2-pyrrolidinone dan campuran tersebut dipanaskan pada water bath selama 1 jam. 0,5 g Carbon powder (KB 600) dimasukkan dan aduk hingga merata. Kedua bagian logam Ni/Ti 100 mesh dilapisi dengan carbon paste, setelah itu elektroda dipanaskan ke dalam oven dengan suhu 50°C selama 20 menit.



Gambar III.1 Tahapan pelapisan material bahan 100 mesh dengan *carbon paste*

III.4.3 Tahapan Pengukuran Potensial Listrik

Pada Gambar III.2 dapat dilihat alat multimeter yang dilengkapi dengan rangkaian alat resistor disiapkan untuk mengukur tegangan dan arus listrik, alat ini memakai resistor sebesar 1 k Ω . Katoda dan anoda dihubungkan ke multimeter dengan konektor (capit buaya). Nilai tegangan dan arus listrik yang tertera pada multimeter kemudian dicatat.



Gambar III.2 Pengukuran Potensi Listrik Menggunakan Multitester

III.4.4 Tahapan Pengukuran dan Analisa

Pada pengukuran suhu menggunakan termometer diletakkan ke dalam lumpur lalu nilai suhu yang tertera pada termometer dicatat. Untuk pengukuran TDS (*Total Dissolved Solid*) dan salinitas mula-mula lumpur diambil dan diendapkan hingga terjadi dua lapisan yaitu lapisan air dan endapan lumpur kemudian alat konduktometer dicelupkan pada lapisan air, mencatat nilai TDS dan salinitas yang tertera pada konduktometer. Pada pengukuran pH mula-mula lumpur diambil dan diendapkan hingga terjadi dua lapisan yaitu lapisan air lumpur dan endapan, sampel diukur menggunakan kertas pH kemudian disamakan warna kertas pH dengan indikator untuk dicatat. Pada analisa jumlah bakteri, pertama sampel lumpur diambil dan ditimbang sebanyak 1 gr kemudian lumpur dimasukkan ke erlenmeyer untuk pengenceran hingga 10 mL sebanyak 6 kali dengan menggunakan penambahan aquadest. Sampel diambil dengan menggunakan pipet tetes untuk ditetaskan diatas permukaan haemocytometer. Setelah itu letakkan *haemocytometer* dibawah lensa mikroskop untuk dihitung jumlah selnya. Pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 400X, dimana peralatan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar III.3.



a

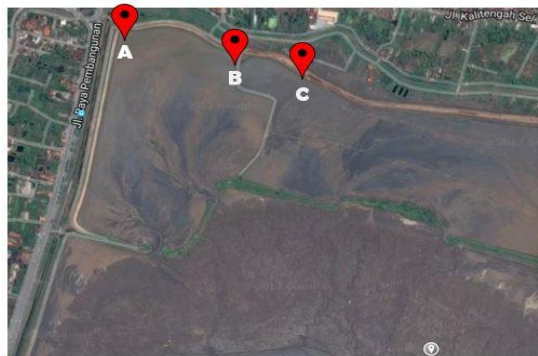


b

Gambar III.3 Alat Analisa dan Pengukuran : (a) Konduktometer
(b) Mikroskop dan *haemacytometer*

III.4.5 Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di dua tempat yaitu lokasi Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo dan Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia FTI-ITS. Tiga lokasi penanaman di Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo ditandai dengan titik A, B dan C.



Gambar III.4 Area penanaman elektroda di Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo terdiri dari: titik(A), titik(B) dan titik (C)

III.4.6 Percobaan di Lokasi Lumpur Lapindo

Percobaan di lokasi Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo bertujuan untuk menentukan area yang terbaik ditinjau dari segi

power of hydrogen (pH), *electro conductivity* (EC), *total dissolved solid* (TDS) dan konsentrasi bakteri (sel/gr). Untuk penanaman elektroda lumpur pada lokasi sampel digali sedalam ± 10 cm dari permukaan. Kemudian elektroda (anoda) diletakkan di dasar lubang lumpur yang telah digali dan ditutup kembali. Lokasi penanaman elektroda ditandai dengan menggunakan titik koordinat sebagai berikut:

Titik A = S 7°30'42.0804"E 112°42'29.2968"

Titik B = S 7°30'45.6984"E 112°42'39.852"

Titik C = S 7°30'44.8956"E 112°42'42.2784"

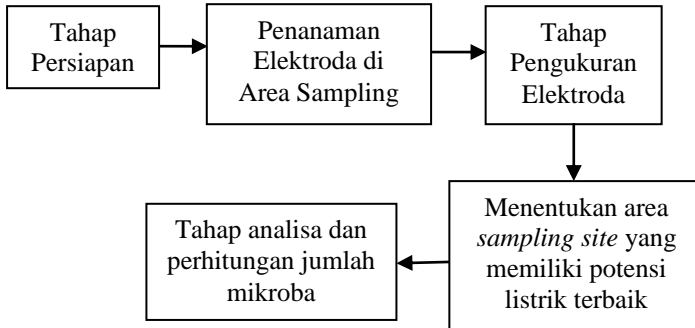
III.4.7 Percobaan di Laboratorium

Percobaan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS bertujuan untuk menentukan lokasi elektroda mana yang terbaik pada periode waktu 10 minggu dengan menggunakan Lumpur Lapindo yang telah memenuhi kriteria terbaik ditinjau dari segi *power of hydrogen* (pH), *electro conductivity* (EC), *total dissolved solid* (TDS) dan konsentrasi bakteri (sel/gr).

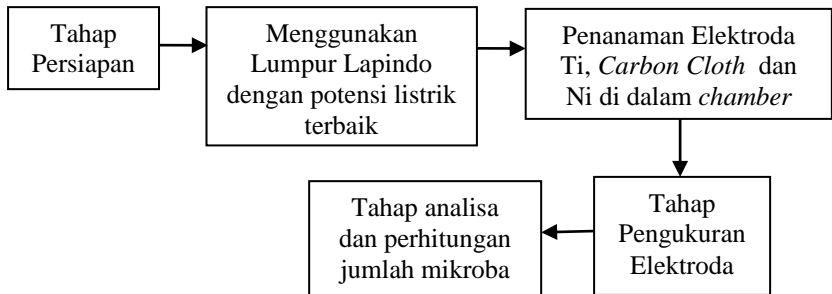
Lumpur Lapindo dari titik terbaik ditimbang sebanyak 1 kg dan dimasukkan ke dalam chamber setinggi 3 cm dan 5 cm (variabel kedalaman). Elektroda (anoda) diletakkan kedalam chamber yang sudah berisi lumpur dan tutup elektroda dengan lumpur sampai mencapai ketinggian total 10 cm dari permukaan chamber. Elektroda dibiarkan tertanam untuk pengukuran tegangan pada variabel waktu yaitu selama 1 minggu, 2 minggu, 3 minggu hingga 10 minggu. Pada tiap minggu sampel akan diberikan nutrient sebanyak 5 ml nutrient yang digunakan dalam penelitian ini adalah MMY sedangkan untuk kontrol negatif tanpa penambahan nutrient Non-MMY.

III.5 Diagram Alir Penelitian

III.5.1 Tahap Percobaan di Lokasi Lumpur Lapindo



III.5.2 Tahap Percobaan di Laboratorium



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Penelitian

IV.1.1 Hasil Penelitian di Lokasi Lumpur Lapindo

Data pengukuran pada area sampel yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel IV.1 dan IV.2 dibawah ini. Dari tabel tersebut dapat dilihat *total dissolved solid* (TDS), *electro conductivity* (EC), *power of hydrogen* (pH), suhu (°C), konsentrasi bakteri (sel/g), nilai tegangan (V), arus listrik (I) dan *power density* (P) yang ada pada area penanaman elektroda di Lapindo Sidoarjo.

Tabel IV.1 Hasil penelitian data TDS, EC, pH, suhu dan jumlah bakteri pada area sampel.

Parameter	Lokasi Sampel		
	Area A	Area B	Area C
TDS (ppm)	1357	858	450
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9305	5648	2789
pH	8	8	8
Suhu (°C)	32	33	33
Jumlah bakteri (sel/gr)	$1,45 \times 10^{12}$	$0,7 \times 10^{12}$	$0,5 \times 10^{12}$

Tabel IV.2 Hasil pengukuran data tegangan, arus listrik dan *power density* pada area A, B dan C

Periode	Lokasi Sampel								
	Area A			Area B			Area C		
(Minggu)	V (Volt/ m^2)	I (A/ m^2)	P (Watt/ m^2)	V (Volt/ m^2)	I (A/ m^2)	P (Watt/ m^2)	V (Volt/ m^2)	I (A/ m^2)	P (Watt/ m^2)
0	148,00	0,010	1,480	126,23	0,010	1,262	121,05	0,005	0,605
1	159,38	0,010	1,594	146,50	0,010	1,465	139,50	0,010	1,395
2	163,83	0,010	1,638	142,08	0,010	1,421	149,50	0,005	0,748
3	127,83	0,010	1,278	101,33	0,005	0,507	75,67	0,005	0,378
4	147,67	0,010	1,477	117,33	0,005	0,587	102,67	0,005	0,513

Dari kedua tabel di atas diketahui bahwa lokasi sampel yang memiliki TDS, EC dan jumlah sel mempunyai hubungan linier dengan tegangan, arus dan power density. Semakin besar TDS, EC dan jumlah bakteri, maka akan semakin tinggi nilai tegangan, arus dan power density.

Dari pemilihan di lokasi lumpur Lapindo dapat diketahui bahwa area A memiliki potensi menghasilkan biolistrik paling besar dibanding area B dan C. Setelah mengetahui bahwa area A memiliki potensi yang paling tinggi dari ketiga area sampel, maka lumpur pada area A diambil untuk penelitian lebih lanjut di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, FTI – ITS.

IV.1.2 Hasil Penelitian di Laboratorium

Data pengukuran yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Tabel IV.3, IV.4 dan IV.5 dibawah ini. Dari tabel tersebut didapatkan nilai tegangan, arus listrik dan power density yang ada pada elektroda Ti 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Ni 100 mesh dengan menggunakan nutrien MMY dan Non-MMY.

Tabel IV.3 Hasil pengukuran elektroda Ti 100 mesh pada nutrien MMY dan Non-MMY

Periode (Minggu)	Ti 100 mesh					
	MMY			Non MMY		
	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)
0	54,55	0,0050	0,273	26,50	0,005	0,133
1	86,63	0,0050	0,433	65,50	0,005	0,328
2	62,42	0,0050	0,312	48,08	0,003	0,120
3	45,42	0,0050	0,227	32,67	0,003	0,082
4	49,88	0,0025	0,125	19,18	0,003	0,048
5	51,08	0,0025	0,128	9,75	0,003	0,024
6	51,33	0,0025	0,128	8,17	0,003	0,020
7	51,17	0,0025	0,128	7,83	0,003	0,020
8	41,17	0,0025	0,103	8,08	0,003	0,020
9	45,08	0,0025	0,113	8,67	0,003	0,022
10	54,75	0,0025	0,137	9,83	0,003	0,025

Tabel IV.4 Hasil pengukuran elektroda *Carbon Cloth* pada nutrisi MMY dan Non-MMY

Periode (Minggu)	<i>Carbon Cloth</i>					
	MMY			Non MMY		
	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)
0	10,23	0,0050	0,051	0,34	0,005	0,002
1	35,68	0,0050	0,178	41,05	0,005	0,205
2	30,50	0,0025	0,076	28,17	0,005	0,141
3	32,50	0,0025	0,081	26,08	0,003	0,065
4	19,50	0,0025	0,049	3,89	0,003	0,010
5	48,17	0,0025	0,120	7,08	0,003	0,018
6	59,42	0,0025	0,149	9,92	0,003	0,025
7	31,92	0,0025	0,080	9,58	0,003	0,024
8	10,08	0,0025	0,025	6,58	0,003	0,016
9	30,17	0,0025	0,075	7,58	0,003	0,019
10	19,25	0,0025	0,048	7,75	0,003	0,019

Tabel IV.5 Hasil pengukuran elektroda Ni 100 Mesh pada nutrisi MMY dan Non-MMY

Periode (Minggu)	Ni 100 mesh					
	MMY			Non MMY		
	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)	V (Volt/m ²)	I (A/m ²)	P (Watt/m ²)
0	14,06	0,0025	0,035	5,14	0,005	0,026
1	29,83	0,0025	0,075	22,11	0,003	0,055
2	27,33	0,0025	0,068	29,75	0,003	0,074
3	26,67	0,0025	0,067	27,25	0,003	0,068
4	19,50	0,0025	0,049	12,83	0,003	0,032
5	8,83	0,0025	0,022	9,75	0,003	0,024
6	6,75	0,0025	0,017	6,83	0,003	0,017
7	7,17	0,0025	0,018	6,17	0,003	0,015
8	4,29	0,0025	0,011	6,08	0,003	0,015
9	3,25	0,0025	0,008	6,00	0,003	0,015
10	6,50	0,0033	0,022	5,83	0,003	0,015

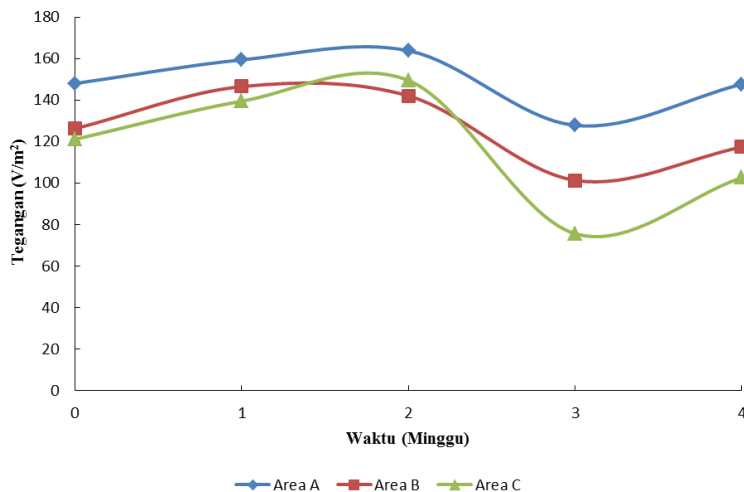
Keterangan :

MMY = penambahan Minimum Medium dengan Yeast

Non-MMY = tanpa penambahan Minimum Medium dengan Yeast

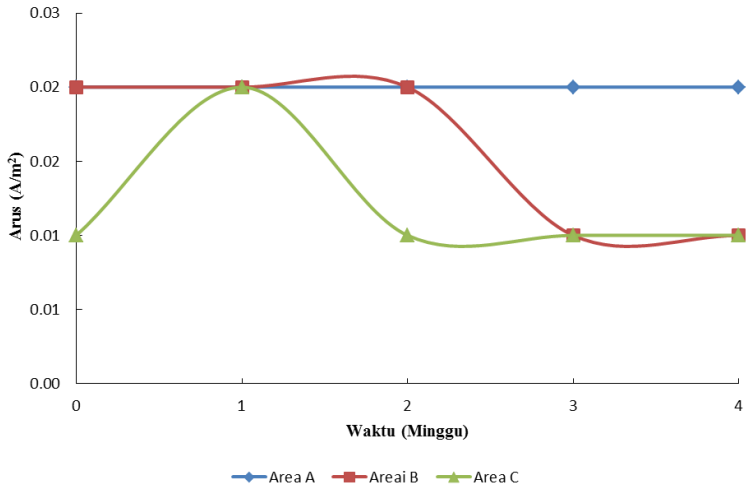
IV.2 Pembahasan Penelitian

IV.2.1 Pembahasan Penelitian di Lokasi Lumpur Lapindo



Gambar IV.1 Perbandingan antara tegangan listrik dan waktu di area sampel

Elektroda Ni 100 mesh dengan ukuran 2 x 5 cm (10 cm²) digunakan dalam penelitian untuk menentukan area sampel yang paling baik, dimana area lumpur lapindo dengan koordinat S7°30'42.0804"E112°42'29.2968", S7°30'45.6984"E112°42'39.852" dan S7°30'44.8956" E112°42'42.2784", secara berurutan didefinisikan sebagai area A, area B dan area C. Dari Gambar IV.1 diatas dapat dilihat nilai tegangan yang paling stabil dicapai oleh elektroda yang ditanam di area A. Nilai tegangan yang paling tinggi juga diperoleh area A dengan nilai 163,83 Volt/m². Dalam pengukuran tegangan listrik ini diberikan hambatan sebesar 1 kΩ. Dari hasil pengukuran juga menunjukkan adanya kenaikan dan penurunan pada tegangan listrik setiap minggunya, hal ini diakibatkan karena dipengaruhi oleh aktifitas mikroba yang tidak menentu pada tiap minggunya.

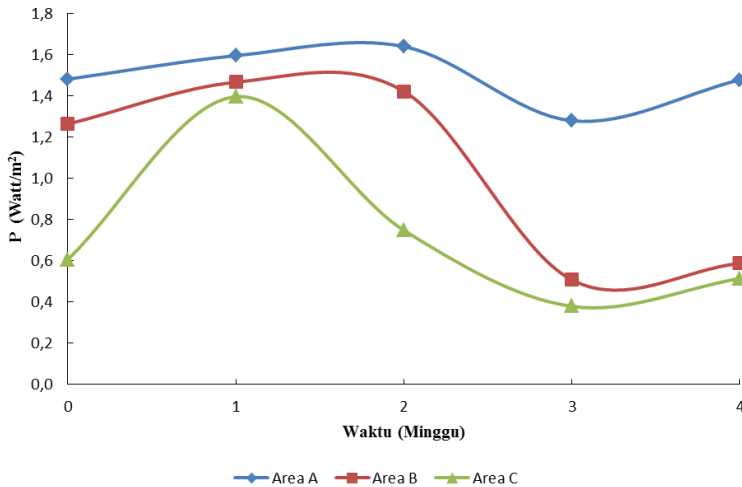


Gambar IV.2 Perbandingan antara arus dan waktu di area penanaman elektroda

Elektroda Ni 100 mesh dengan menggunakan jenis dan ukuran yang sama digunakan untuk menentukan potensi arus listrik dari ketiga area sampel yang paling baik. Dari Gambar IV.2 dapat dilihat nilai arus listrik yang relatif stabil diperoleh elektroda yang ditanam pada koordinat S 7°30'42.0804"E 112°42'29.2968" atau area A dengan nilai 0,01 A/m².

Dari Gambar IV.1 dan IV.2 menunjukkan adanya perolehan yang fluktuatif pada tegangan listrik maupun arus listrik. Hal ini dimungkinkan karena adanya interaksi atau persaingan antar bakteri dalam mendekomposisi kandungan senyawa organik. Peningkatan maupun penurunan electricity (tegangan dan arus listrik) memiliki keterkaitan dengan TEA (Terminal Electron Acceptor) seperti oksigen, nitrit, nitrat, sulfat yang berdifusi melalui sel lalu elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton menuju katoda sehingga menghasilkan biolistrik (Agustin dan Irwan, 2014). Dari hasil pengukuran yang

ditunjukkan pada kedua gambar di atas juga menunjukkan bahwa area A memiliki potensi tegangan dan arus listrik yang paling baik, hal ini dikarenakan pada area tersebut mempunyai nilai TDS, EC dan jumlah sel yang paling tinggi dibandingkan area B dan C.



Gambar IV.3 Perbandingan antara *power density* dan waktu di area penanaman elektroda

Power density dari MFCs ini menggunakan satuan dalam Watt/m² dan dihitung menggunakan persamaan $P = V \times I$. Pada hambatan 1 k Ω , power density maksimum dari area sampel A adalah 1,638 Watt/m².

Terbentuknya biofilm yang lebih stabil pada substrat dengan waktu inkubasi yang paling lama diperkirakan membuat MFCs lebih lama memproduksi listrik. Mikroba membutuhkan waktu untuk beradaptasi di lingkungan sekitarnya dan untuk bereproduksi sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama agar terbentuk konsorsium mikroba yang stabil. Biofilm yang stabil akan mendegradasi senyawa organik dengan sempurna sehingga

produksi listrik hasil metabolisme mikroba yang terbentuk kecil diawal eksperimen namun cenderung stabil seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini disebabkan karena kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik dalam substrat. Namun jika terlalu lama, maka senyawa organik yang terdapat dalam lumpur akan terus terdegradasi. Logan, (2006) menyatakan jika tidak ada senyawa organik yang tersisa maka akan menyebabkan produksi listrik turun karena tidak ada lagi senyawa yang dioksidasi. Selain itu, menurut Nevin dan Kim (2009) biofilm yang terus berkembang seiring berjalannya waktu akan menutupi elektroda dan meningkatkan hambatan internal anoda sehingga menyebabkan penurunan nilai power density.

Dalam Gambar IV.1, IV.2 dan IV.3 dapat diketahui bahwa ketiga parameter yaitu tegangan listrik, arus listrik dan power density memiliki hubungan dalam menghasilkan energi listrik. Dimana sesuai dalam Hukum Ohm, bahwa besar arus listrik (I) yang mengalir melalui sebuah penghantar atau konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial / tegangan (V) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R).

$$V = I \times R$$

dimana :

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (Ampere)

R = Resistansi (Ohm)

Mikroorganisme yang berperan penting dalam sistem MFCs merupakan bakteri penghasil listrik yang umumnya meliputi *Geobacter* sp, *Shewanella* sp, dan *Escherichia coli* (Januarita dkk, 2016). Dalam penelitian ini bakteri yang berperan dalam produksi listrik dihitung (jumlah sel/gram) dengan menggunakan haemocytometer.

Dari Tabel IV.1 dapat dilihat bahwa pada area A terdapat jumlah sel mikroorganisme yang paling tinggi dari ketiga area lain. Hal ini dapat terlihat bahwa area A sangat berpotensi menjadi area pengambilan lumpur untuk digunakan dalam

penelitian selanjutnya, karena jumlah sel berpengaruh dengan banyaknya mikroorganisme yang dapat memproduksi listrik yang berada didalam lumpur. Oleh karena itu dengan semakin banyaknya mikroorganisme maka berbanding lurus dengan produksi listrik yang dihasilkan.

Dari Tabel IV.1 dapat diketahui bahwa pH area A, B dan C menunjukkan angka 8. pH adalah salah satu parameter penting pada MFCs dalam proses produksi listrik. Selain itu, pH merupakan faktor kritis untuk semua proses berbasis mikroba. Pada MFCs, pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan bakteri tetapi juga berpengaruh terhadap transfer proton dan reaksi katoda sehingga berimplikasi pada performa MFCs. Sebagian besar MFCs beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik (Liu, 2008).

Puig dkk, (2010) mengemukakan bahwa dalam dual chamber MFCs, produksi listrik menurun secara signifikan ketika pH akhir turun menjadi 5,2 karena produk asam fermentasi, namun kembali normal ketika pH kembali 7. Tetapi pada katoda, pH mempengaruhi baik pada reaksi anodik dan katodik dimana pH tinggi (8-10) menghambat aktifitas bakteri anodik sampai batas tertentu, tapi mungkin menguntungkan untuk reaksi katodik, sehingga meningkatkan kinerja keseluruhan.

Hasil ini sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh Gil dkk, (2010) dimana kedua studi mengamati bahwa pH rendah (pH 5 dan 6) mengakibatkan produksi listrik yang lebih rendah dan pH rendah dalam MFCs mungkin memiliki inhibitor aktivitas bakteri electrogenic. Peneliti lain juga telah melaporkan bahwa pH asam di dalam ruang anoda mengurangi produksi listrik (Fernando dan Garcia, 2011).

Dari Tabel IV.1 di atas dapat diketahui bahwa kadar salinitas pada area A adalah yang paling tinggi. Salinitas merupakan tingkat keasinan atau kadar garam terlarut dalam air. Salinitas merupakan salah satu hal pendukung dalam proses produksi listrik. Kandungan garam ini diantaranya Chlorin (Cl-),

Sodium (Na^+), Magnesium (Mg^{2+}), Sulfur (SO_4^{2-}), Calcium (Ca^{2+}) dan Potassium (K^+). Karena dengan kadar garam yang tinggi maka kadar salinitas juga tinggi. Garam adalah bahan elektrolit yang bagus dalam menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu dengan salinitas yang tinggi akan berpengaruh terhadap listrik yang dihasilkan. Salinitas atau kekuatan ion mempengaruhi konduktifitas larutan pada ruangan MFCs sehingga mempengaruhi hambatan internal, yang akhirnya berefek pada performa MFCs (Liu, 2008).

Dari Tabel IV.1 di atas didapatkan bahwa nilai TDS (*Total Dissolved Solid*) pada area A adalah yang paling tinggi yaitu sebesar 1357 ppm. TDS merupakan hal pendukung lainnya dalam proses produksi listrik. TDS adalah “benda padat yang terlarut” yaitu semua mineral, garam, logam, serta kation-anion yang terlarut di air, termasuk semua yang terlarut diluar molekul air murni (H_2O). Secara umum, konsentrasi benda-benda padat terlarut merupakan jumlah antara kation dan anion didalam air. TDS terukur dalam satuan parts per million (ppm) atau perbandingan rasio berat ion terhadap air.

Benda-benda padat di dalam air tersebut berasal dari banyak sumber, organik seperti daun, lumpur, plankton, serta limbah industri. Sumber lainnya bisa berasal dari limbah rumah tangga, pestisida, dan banyak lainnya. Sedangkan, sumber anorganik berasal dari batuan dan udara yang mengandung kalsium bikarbonat, nitrogen, besi fosfor, sulfur, dan mineral lain. Semua benda ini berbentuk garam, dimana kandungannya merupakan perpaduan antara logam dan non logam. Garam-garam ini biasanya terlarut di dalam air dalam bentuk ion, yang merupakan partikel yang memiliki kandungan positif dan negatif. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai TDS maka semakin besar daya hantar listriknya (Santoso, 2008).

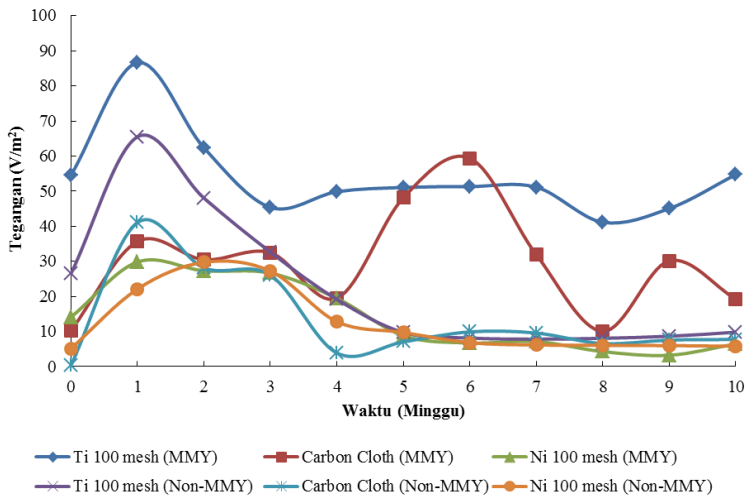
Kinetika bakteri, transfer massa proton melalui elektrolit dan laju reaksi oksigen pada katoda menentukan performa MFCs dan semua tergantung kepada temperatur. Biasanya konstanta reaksi biokimia meningkat setiap kenaikan temperatur 100°C

sampai tercapai temperatur optimal. Sebagian besar penelitian MFCs dilakukan pada temperatur 27-35 °C (Liu, 2008).

Selain itu, dari Tabel IV.1 terlihat bahwa suhu yang terjadi masih berada pada range suhu optimal antara 31-33 °C. Dari lokasi sampel tersebut diketahui bahwa lumpur yang berada di area A sangat berpotensi untuk dilakukan penelitian lanjutan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, FTI-ITS.

IV.2.2 Pembahasan Penelitian di Laboratorium

Penelitian lebih lanjut mengenai sampel lumpur Lapindo Sidoarjo area A yang dilakukan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, FTI - ITS. Pada proses ini penelitian dilakukan dengan pemakaian tiga bahan material elektroda yakni Titanium (Ti) 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Nikel (Ni) 100 mesh.



Gambar IV.4 Perbandingan antara tegangan dan waktu pada semua variabel

Penggunaan ketiga bahan elektode tersebut untuk mengetahui material mana yang paling baik digunakan sebagai elektroda dalam pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai biolistrik dengan menggunakan *microbial fuel cells* (MFCs).

Dari Gambar IV.4 dapat dilihat hubungan tegangan (V/m^2) dengan waktu (minggu) menggunakan ketiga elektroda yakni Ti 100 mesh, *Carbon Cloth* dan Ni 100 mesh. Elektroda yang paling baik adalah elektroda Ti 100 mesh (MMY), karena menghasilkan tegangan paling besar yaitu 86,63 Volt/m² dari pada elektroda *Carbon Cloth* dan Ni.

Dalam Gambar IV.4 menunjukkan nilai tegangan tertinggi dicapai oleh variabel Ti 100 mesh (MMY) pada minggu ke-1 dan terjadi penurunan nilai tegangan hingga minggu ke-3, selanjutnya nilai tegangan mulai stabil dan menunjukkan penurunan secara perlahan. Pada variabel *Carbon Cloth* (MMY) menunjukkan kondisi yang fluktuatif dari nilai tegangan yang dicatat, kenaikan tegangan terjadi pada minggu ke-6 dan mengalami penurunan ekstrim pada minggu ke-7. Sedangkan pada variabel Ni 100 mesh (MMY) pada minggu ke-1 mengalami kenaikan dan minggu ke-3 hingga ke-10 terus mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan populasi dan aktifitas mikroorganisme yang tidak stabil dan cenderung menurun yang dibuktikan dari hasil perhitungan jumlah bakteri pada Gambar IV.6, IV.7 dan IV.8.

Dalam mempertimbangkan pemilihan bahan elektroda terhadap stabilitas fisik dan kimiawi yang meliputi ketahanan terhadap korosi, pembentukan oksida dan hidrida tertentu, laju dan selektifitas produk yang akan terbentuk, konduktifitas listrik dan ketahanan, serta kesesuaian dengan desain sel atau sistem (Artadi, 2007). Sehingga pada penelitian ini memilih Ti 100 Mesh (MMY) sebagai elektroda terbaik.

Daya hantar listrik adalah kemampuan suatu penghantar untuk memindahkan muatan listrik. Pada penelitian ini menggunakan Ti 100 mesh dan Ni 100 mesh yang memiliki arti bahwa terdapat 100 lubang pada bidang permukaan elektroda

seluas 1 in². Dengan menggunakan ukuran 100 mesh maka luas permukaan dari elektroda akan semakin luas sehingga mikroorganisme dapat menempel pada permukaan elektroda. Selain menggunakan material logam Ti dan Ni, pada penelitian ini juga menggunakan material *Carbon Cloth* (Carbon felt GF-20) sebagai elektroda.

Carbon Cloth mengalami kenaikan fluktuasi yang tidak stabil dalam Gambar IV.4, pada minggu ke-6 mengalami titik kenaikan ekstrim. Hal ini dimungkinkan karena adanya penyerapan lumpur di permukaan menuju kedalam inti *Carbon Cloth* sehingga mengakibatkan kenaikan nilai tegangan. Dari hasil uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) nampak bahwa *Carbon Cloth* memiliki morfologi seperti serat yang tidak beraturan sehingga memungkinkan terbentuknya bubble di dalam celah-celah *Carbon Cloth*. Maka dari itu sebelum dilakukan penelitian seharusnya *Carbon Cloth* dipersiapkan terlebih dahulu dengan cara merendam *Carbon Cloth* pada larutan NaCl 0,3 M, hal ini bertujuan agar bubble didalamnya terpecah dan proses penyerapan lumpur dapat merata sehingga tidak terjadi keterlambatan penyerapan yang menimbulkan kenaikan ekstrim pada waktu tertentu.

Reaktifitas, bilangan valensi dan konsentrasi ion-ion terlarut sangat berpengaruh terhadap nilai daya hantar listrik. Bahan Ti memiliki bilangan oksidasi tinggi sehingga memiliki sifat ikatan kovalen yang tinggi hal itu mengakibatkan daya hantar Ti juga tinggi.

Pemberian nutrisi dan tidak diberikan nutrisi pada sampel, hal ini bertujuan sebagai kontrol negatif. Nutrisi yang digunakan yaitu MMY (Minimum Medium dengan Yeast). Nutrisi disini adalah sebagai bahan organik tambahan bagi mikroorganisme untuk dikonsumsi sehingga dari metabolisme mikroorganisme didapatkan kemampuan dari nutrisi itu sendiri guna mendukung mikroorganisme dalam memproduksi listrik. Tipe substrat atau nutrisi merupakan faktor penting dalam MFCs, substrat akan berpengaruh pada *power density* walaupun

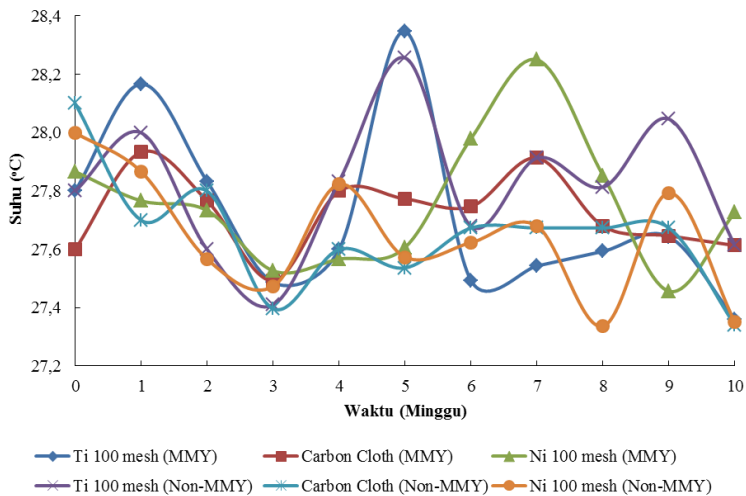
menggunakan mikroba konsorsium yang sama. Biolistrik sangat bergantung dari konsentrasi substrat, dimana pada konsentrasi substrat tinggi maka hasil daya yang dihasilkan akan tinggi (Park dan Zeikus, 2003).

Pada Gambar IV.4 Ti 100 Mesh (MMY) memiliki tegangan paling besar yaitu 173,27 Volt/m² pada minggu ke-1 dan cenderung terjadi penurunan perlahan pada minggu selanjutnya. Hal ini membuktikan bahwa penambahan nutrisi berpengaruh terhadap kebutuhan bahan organik yang dikonsumsi oleh mikroorganisme terhadap kestabilan tegangan yang dihasilkan.

Menurut Waluyo (2005), peran utama nutrisi adalah sebagai sumber energi, bahan pembangun sel dan sebagai aseptor elektron dalam reaksi bioenergetik (reaksi yang menghasilkan energi). Oleh karenanya bahan makanan yang diperlukan terdiri dari air, sumber energi, sumber karbon, sumber aseptor elektron, sumber mineral, faktor pertumbuhan dan nitrogen. Selain itu, secara umum nutrisi dalam media pembenihan harus mengandung seluruh elemen yang penting untuk sintesis biologis organisme baru.

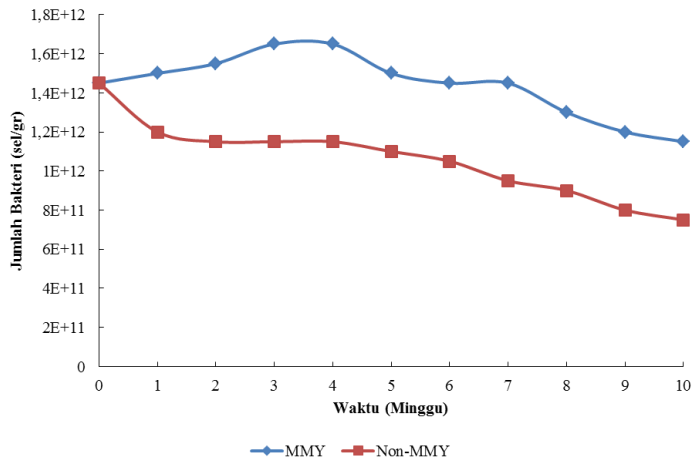
Pada MMY dengan kandungan NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, CaCl_2 , $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glukosa) dan ekstrak yeast, telah memenuhi kebutuhan karbon, nitrogen, fosfor, sulfur dan rich medium sebagai sumber energi dan pertumbuhan sel pada mikroorganisme.

Sel mikroorganisme mengandung karbon, nitrogen, fosfor dan sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur di atas harus ada pada sumber makanannya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat (Manurung, 2004).



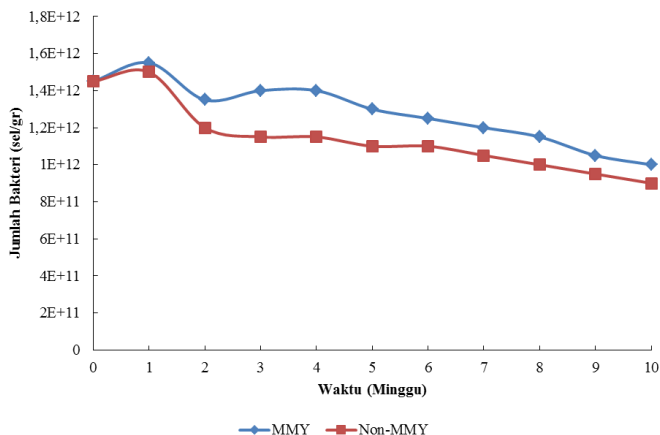
Gambar IV.5 Perbandingan antara suhu dan waktu pada semua variabel

Pada Gambar IV.5 menunjukkan fluktuasi dalam hasil pengukuran suhu (°C) terhadap waktu pada masing-masing chamber. Kinetika bakteri, transfer massa proton melalui elektrolit dan laju reaksi oksigen pada katoda menentukan performa MFCs dan semua tergantung kepada temperatur. Biasanya konstanta reaksi biokimia meningkat setiap kenaikan temperatur 10°C sampai tercapai temperatur optimal. Sebagian besar penelitian MFCs dilakukan pada temperatur 27-35 °C (Liu, 2008). Hasil pengukuran dilakukan menggunakan alat multimeter dan menunjukkan ketidakstabilan suhu, tetapi masih menunjukkan nilai pada batas suhu ruangan yang dikehendaki yaitu 27-30 °C. Secara keseluruhan suhu yang terukur dipengaruhi oleh kondisi suhu ruangan dan cuaca pada saat pengukuran dilakukan. Dalam penelitian ini pengaruh perubahan suhu tidak terlalu terlihat secara signifikan dikarenakan hasil pengukuran masih pada batas suhu yang dikehendaki.



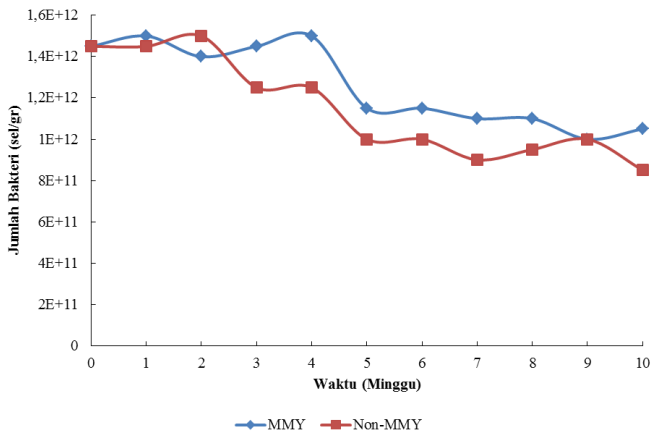
Gambar IV.6 Jumlah bakteri pada elektroda Ti 100 mesh dengan penambahan MMY dan Non-MMY

Faktor yang mempengaruhi dalam energi listrik yang diproduksi adalah mikroorganisme. Mikroorganisme berperan penting dalam sistem MFCs, sebagai penghasil elektron. Dalam penelitian ini, jumlah bakteri di elektroda Ti (MMY) dan Ti (Non-MMY) dengan penambahan nutrisi dihitung menggunakan haemocytometer yang dilengkapi mikroskop pada perbesaran 400X. Gambar IV.6 menunjukkan penurunan terhadap jumlah bakteri dan hasil paling banyak yang terdapat di elektroda Ti (MMY) yaitu sebesar $1,65 \times 10^{12}$ sel/gr, sedangkan untuk elektroda Ti (Non-MMY) jumlah bakteri paling banyak sebesar $1,45 \times 10^{12}$ sel/gr.



Gambar IV.7 Jumlah bakteri pada elektroda *Carbon Cloth* dengan penambahan MMY dan Non-MMY

Gambar IV.7 menunjukkan jumlah bakteri paling banyak yang terdapat di elektroda *Carbon Cloth* (MMY) yaitu sebesar $1,55 \times 10^{12}$ sel/gr, sedangkan untuk elektroda *Carbon Cloth* (Non-MMY) jumlah bakteri paling banyak sebesar $1,45 \times 10^{12}$ sel/gr.



Gambar IV.8 Jumlah bakteri pada elektroda Ni 100 mesh dengan penambahan MMY dan Non-MMY

Gambar IV.8 menunjukkan jumlah bakteri paling banyak yang terdapat di elektroda Ni (MMY) yaitu sebesar $1,5 \times 10^{12}$ sel/gr, sedangkan untuk elektroda Ni (Non-MMY) jumlah bakteri paling banyak sebesar $1,45 \times 10^{12}$ sel/gr.

Berdasarkan Gambar IV.6, IV.7 dan IV.8 diatas menunjukkan jumlah mikroorganisme paling banyak terdapat di elektroda Ti dengan penambahan media MMY yaitu $1,65 \times 10^{12}$ sel/gr. Sedangkan elektroda Carbon Cloth dan Ni dengan penambahan media MMY masing-masing yaitu $1,55 \times 10^{12}$ sel/gr dan $1,5 \times 10^{12}$ sel/gr. Dari Gambar IV.6, IV.7 dan IV.8 kecenderungan jumlah mikroorganisme semakin menurun pada minggu ke-10 hal ini juga mempengaruhi tegangan listrik yang dihasilkan sesuai Gambar IV.4 yang juga menunjukkan mayoritas elektroda yang diamati selama 10 minggu baik dengan penambahan MMY maupun Non-MMY relatif semakin turun tegangannya.

Tabel IV.6 Hasil Uji BOD₅, COD dan TOC Lumpur Lapindo pada t₀ hingga t₁₀

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji			
		t ₀	Ti (t ₁₀)	Cc (t ₁₀)	Ni (t ₁₀)
BOD ₅	mg/L	71,7*	38,01	43,96	34,01
COD	mg/L	527,48	255,36	479,85	515,56
TOC	mg/L	35,73	30,72	28,86	31,46

*Pengujian di Lab. Pengolahan Limbah Industri, Dept. Teknik Kimia, FTI-ITS

Pada Tabel IV.6 menunjukkan hasil uji pada parameter (*Biological Oxygen Demand*) BOD₅, (*Chemical Oxygen Demand*) COD dan (*Total Organic Carbon*) TOC yang telah dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya (Baristand Surabaya) dan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, FTI-ITS. Dari Tabel IV.6 dapat dilihat perbandingan hasil uji pada sampel lumpur lapindo awal (t₀) dan pada akhir percobaan di minggu ke-10 (t₁₀). Untuk diketahui bahwa pengujian yang dilakukan pada t₁₀ mengambil sampel uji dari variabel lumpur Lapindo dengan MMY. Hasil uji

menunjukkan perbedaan penurunan kandungan BOD₅ dari t_0 hingga t_{10} pada *chamber* Ti, *Carbon Cloth* dan Ni. Persen penurunan kandungan BOD₅ setelah 10 minggu penanaman pada masing-masing *chamber* yaitu Ti (46,9%), *Carbon Cloth* (38,7%) dan Ni (52,6%). Hal ini menunjukkan adanya aktifitas mikroba dalam menguraikan unsur organik yang terdapat di dalam substrat lumpur Lapindo. Diikuti dengan menurunnya hasil BOD₅ hal ini sebanding dengan penurunan kandungan COD pada masing-masing variabel elektroda setelah hari ke-10. Persen penurunan kandungan COD terbesar terjadi pada elektroda Ti yaitu 51,59%. Penurunan COD mengindikasikan terjadinya proses bioremediasi pada lumpur Lapindo yang mendukung konsep pemanfaatan unsur organik oleh mikroba untuk proses oksidasi (Nair dkk, 2013). Dari hasil pengujian juga telah diketahui nilai TOC pada masing-masing *chamber* setelah 10 hari penanaman. Persen penurunan kandungan TOC setelah 10 minggu penanaman pada masing-masing *chamber* yaitu Ti (14,02%), *Carbon Cloth* (19,23%) dan Ni (11,95%), hal ini juga menunjukkan bahwa mikroba memanfaatkan unsur karbon organik di area anoda untuk proses oksidasi. Dari ketiga parameter pengujian baik BOD₅, COD dan TOC pada masing-masing sampel mengalami penurunan, hal ini diikuti pula dengan penurunan potensi energi listrik yang dihasilkan, sehingga diketahui bahwa semakin kecil nilai ketiga parameter uji di atas maka potensi energi listrik yang dihasilkan juga semakin menurun. Hal ini diakibatkan karena unsur organik di dalam lumpur Lapindo juga semakin menurun karena telah dimanfaatkan oleh mikroba untuk proses oksidasi pada area anoda.

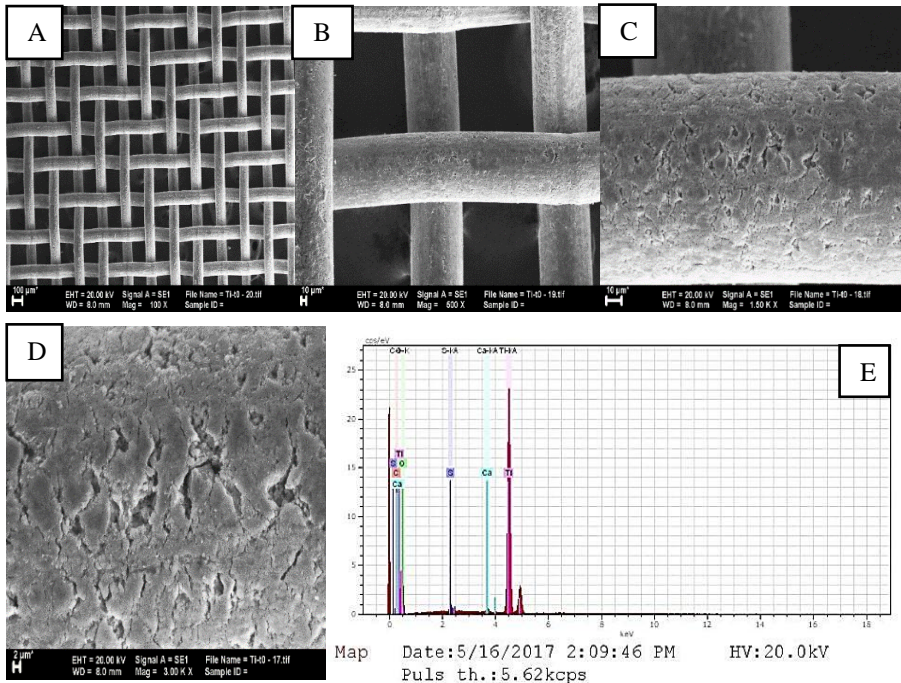
IV.2.3 Hasil Uji SEM-EDX

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan mikroskop elektron yang dapat digunakan untuk mengamati morfologi permukaan dalam skala mikro dan nano. Teknik analisis SEM menggunakan elektron sebagai sumber pencitraan dan medan elektromagnetik sebagai lensanya. SEM yang dilengkapi dengan *Energy Dispersive X-ray* (EDX) dapat mengidentifikasi komposisi unsur-unsur yang terkandung pada suatu sampel (Voutou, 2008).

Teknik karakterisasi konvensional yang berbasis pada panjang gelombang 650 nm keatas, seperti mikroskop optik pada analisis metalografi tidak memiliki resolusi yang cukup untuk mendapatkan informasi ilmiah yang diharapkan. Untuk keperluan tersebut, SEM dipahami sebagai teknik yang diterima dan diakui oleh komunitas peneliti material dunia, ini ditandai dengan diberikannya penghargaan Nobel terhadap para penemunya, Ernst Ruska dan Max Knoll (Yuanina, 2002).

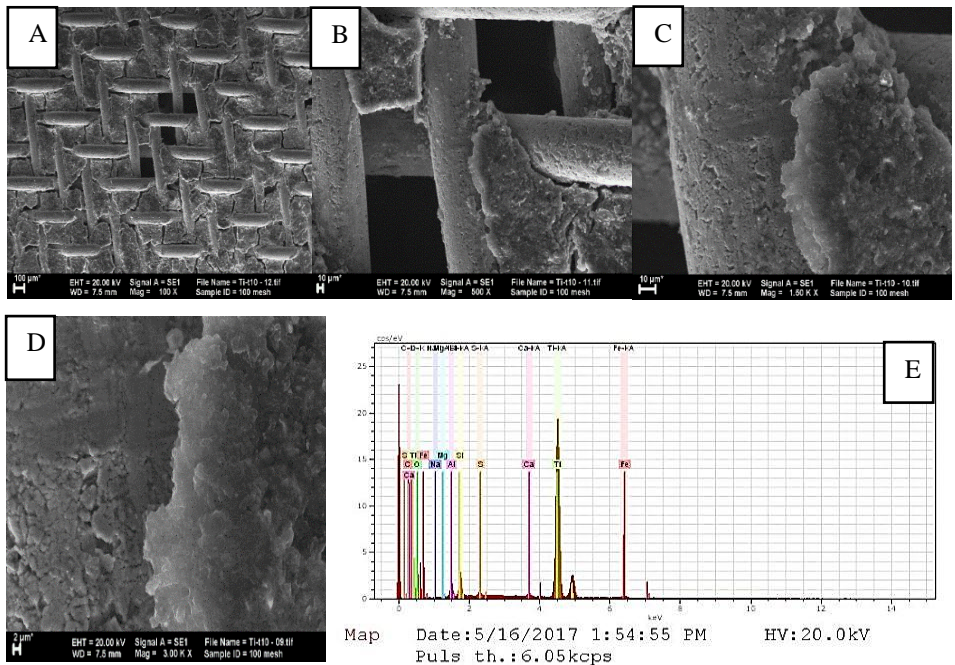
Pengujian SEM-EDX pada elektroda, kami ujikan di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM-ITS, terdiri dari:

1. Ti 100 mesh murni.
2. Ti 100 mesh dengan MMY dari laboratorium hingga minggu ke-10.
3. *Carbon Cloth* murni.
4. *Carbon Cloth* dengan MMY dari laboratorium hingga minggu ke-10.
5. Ni 100 mesh murni.
6. Ni 100 mesh dari lokasi A yang telah ditanam hingga minggu ke-4.
7. Ni 100 mesh dengan MMY dari laboratorium hingga minggu ke-10.



Gambar IV.9 Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ti 100 mesh murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

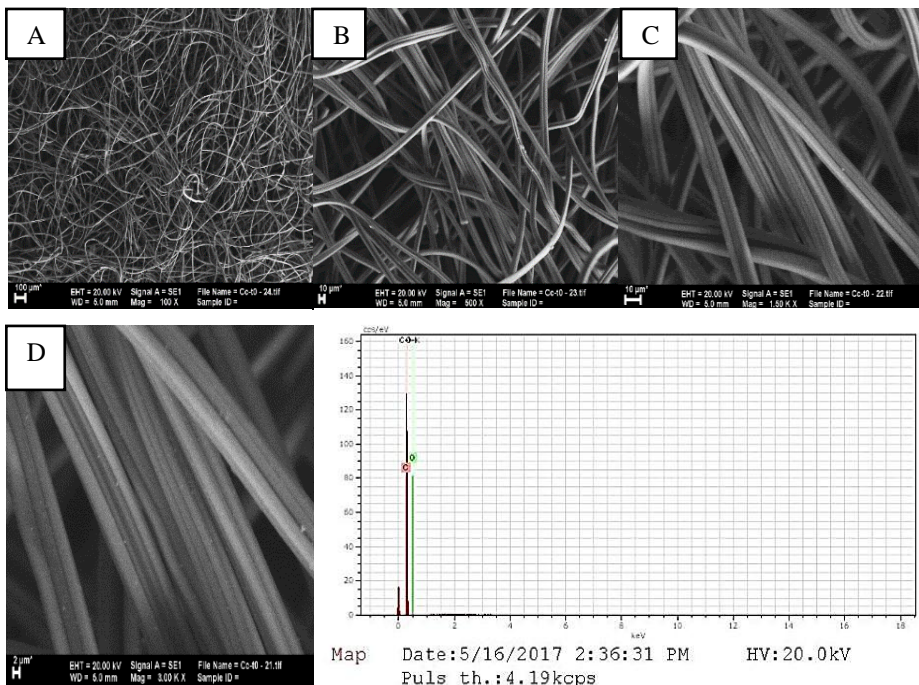
Hasil analisa SEM dan spektrum EDX elektroda Ti 100 mesh murni sebelum dilakukan percobaan dapat dilihat pada Gambar IV.9 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Dari Gambar IV.9 D yaitu Ti 100 mesh murni pada perbesaran 3000x menunjukkan morfologi permukaan awal elektroda yang tidak rata dan dalam kondisi masih bersih. Hasil ini selanjutnya akan dibandingkan dengan kondisi elektroda anoda Ti setelah penanaman selama 10 minggu pada Gambar IV.10.



Gambar IV.10 Hasil analisa SEM dan EDX pada elektroda Ti 100 mesh dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

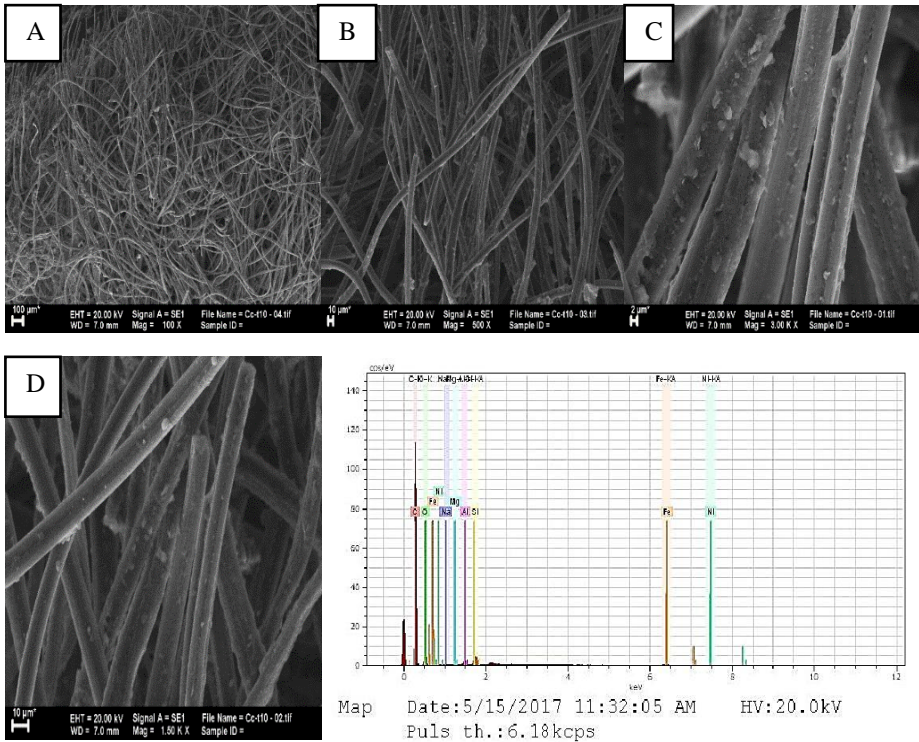
Hasil analisa SEM dan spektrum EDX pada elektroda Ti 100 mesh dengan MMY setelah dilakukan percobaan selama 10 minggu ditunjukkan Gambar IV.10 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Pada Ti 100 mesh dengan MMY setelah dilakukan percobaan selama 10 minggu, hasil dari SEM

membuktikan adanya pembentukan biofilm pada permukaan anoda. Pada Gambar IV.9 A, B, C dan D menunjukkan permukaan elektroda Ti murni sebelum terjadinya pembentukan biofilm. Sedangkan pada Gambar IV.10 A, B, C dan D menunjukkan permukaan elektroda Ti setelah adanya pembentukan biofilm. Pada MFCs, bakteri menempel dan pembentukan biofilm pada permukaan anoda sangat penting dalam efisiensi transfer biologis elektron antara mikroba dan anoda (Franks, 2010). Biofilm adalah substansi polimer ekstraselular (extracellular polymeric substance) yang terbungkus, komunitas mikroba yang menempel pada permukaan (Read, 2010). Teori konvensional mengkategorikan struktur biofilm kedalam tiga tahap dasar perkembangan, pengikatan awal, pematangan dan pelepasan (Read, 2010). Dalam operasi jangka panjang biofilm menjadi semakin tebal kemudian membentuk tahanan ekstra dan juga beberapa sel diperkirakan telah mati dipermukaan dalam dan luar dari biofilm, sehingga kemungkinan substrat tidak mencapai ke bakteri di lapisan dalam yang menyebabkan menurunnya kinerja dari sel tersebut (Sevda, 2012).



Gambar IV.11 Hasil analisa SEM dan EDX elektroda *Carbon Cloth* murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

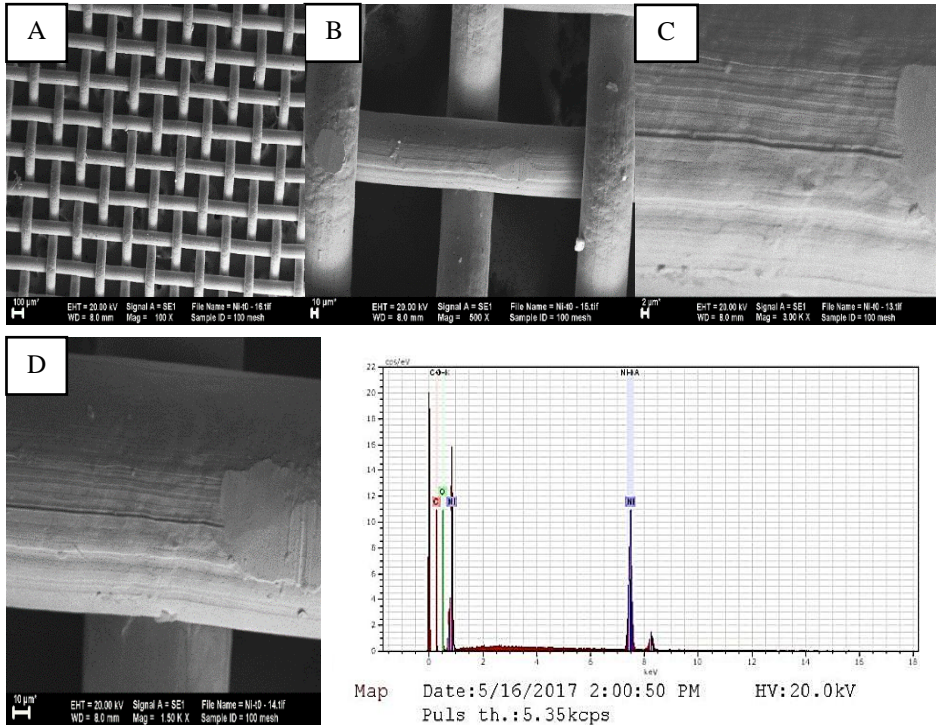
Hasil analisa SEM dan spektrum EDX elektroda *Carbon Cloth* murni sebelum dilakukan percobaan dapat dilihat pada Gambar IV.11 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan pada Gambar IV.11 E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Elektroda anoda *Carbon Cloth* murni pada perbesaran 3000x memiliki morfologi seperti sekumpulan serat yang tidak beraturan dan terlihat pula kondisi permukaannya yang masih bersih.



Gambar IV.12 Hasil analisa SEM dan EDX elektroda *Carbon Cloth* dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

Hasil analisa SEM dan spektrum EDX pada elektroda *Carbon Cloth* dengan MMY setelah dilakukan percobaan selama 10 minggu ditunjukkan Gambar IV.12 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. Pada Gambar IV.12 E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x dimana elektroda *Carbon Cloth* dengan MMY setelah digunakan pada percobaan selama 10 minggu mengalami penurunan performa dalam kualitas menghasilkan potensi listrik. Dari hasil uji spektrum EDX juga menunjukkan

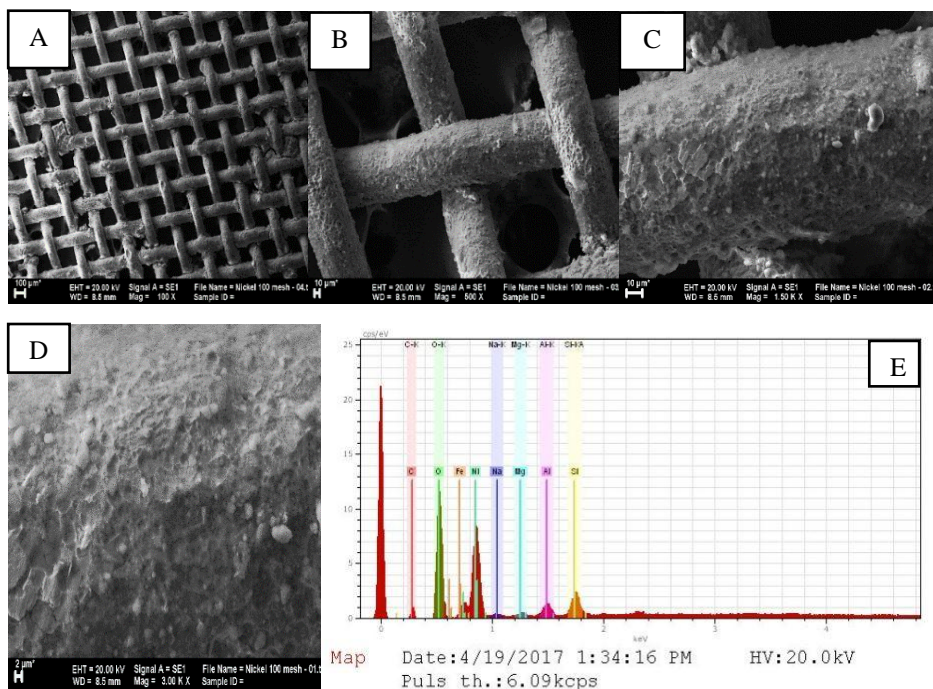
bahwa semakin lama *Carbon Cloth* digunakan maka akan mengalami decay atau penurunan komposisi karbon dari anoda *Carbon Cloth*, sehingga setelah mencapai waktu tertentu performa MFCs mulai menurun (Sevda, 2012).



Gambar IV.13 Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ni 100 mesh murni. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

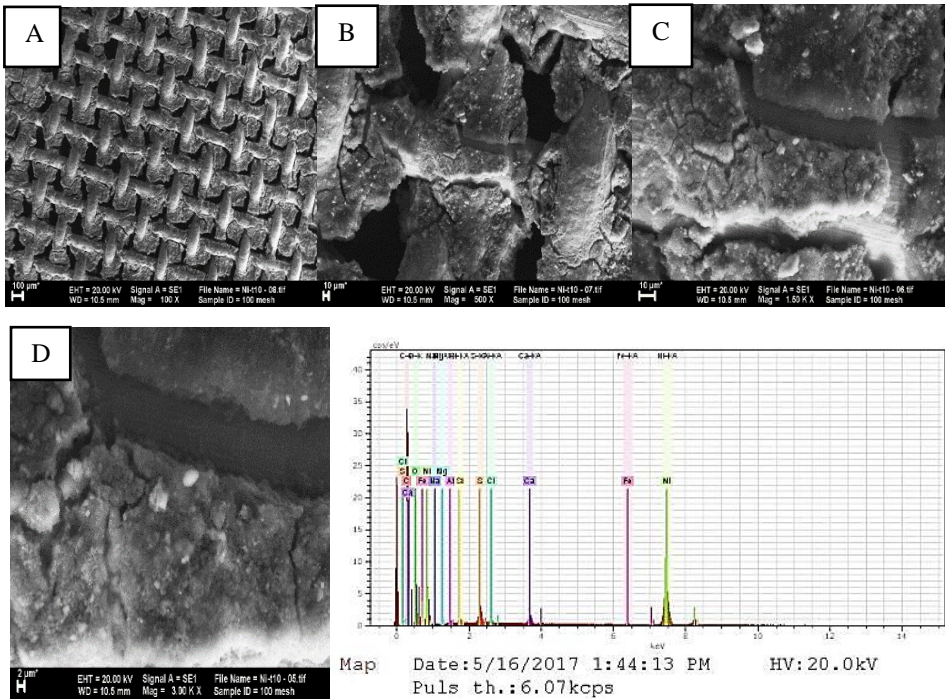
Hasil analisa SEM dan spektrum EDX elektroda Ni 100 mesh murni sebelum dilakukan percobaan dapat dilihat pada Gambar IV.13 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan E

menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Elektroda Ni 100 mesh murni pada perbesaran 3000x terlihat memiliki morfologi permukaan yang rata dan halus, hal ini menunjukkan kondisi awal elektroda Ni 100 mesh sebelum dilakukan percobaan pada area A dan pada rangkaian MFCs di laboratorium. Kondisi awal elektroda anoda ini selanjutnya akan dibandingkan dengan kondisi setelah 4 minggu percobaan di lokasi sampel (Gambar IV.14) dan setelah 10 minggu percobaan di laboratorium (Gambar IV.15).



Gambar IV.14 Hasil analisa SEM dan EDX elektroda Ni 100 dengan MMY yang telah ditanam hingga minggu ke-4. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

Hasil analisa SEM dan spektrum EDX elektroda Ni 100 mesh pada area A setelah percobaan penanaman selesai pada minggu ke-4, dapat dilihat pada Gambar IV.14 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Gambar SEM elektroda Ni 100 mesh pada perbesaran 3000x menunjukkan struktur morfologi permukaan yang tidak rata dari kondisi awalnya, hal ini membuktikan adanya pembentukan biofilm pada permukaan anoda. Sedangkan pada Gambar IV.13 Ni 100 mesh murni menunjukkan morfologi permukaan anoda yang masih bersih dan belum terlihat adanya pembentukan biofilm. Penebalan lapisan biofilm dipengaruhi oleh lama waktu penanaman elektroda, biofilm yang menempel setelah sekian lama akan mengalami fase kematian dan membentuk kerak (tahanan ekstra) yang menyebabkan nutrisi tidak bisa masuk ke dalam lapisan, sehingga kinerja dari anoda akan menurun dalam menghasilkan potensi listrik (Sevda, 2012).



Gambar IV.15 Hasil analisa SEM dan EDX pada elektroda Ni 100 mesh dengan MMY minggu ke-10. A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x. E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x.

Hasil analisa SEM dan spektrum EDX pada elektroda Ni 100 mesh dengan MMY setelah dilakukan percobaan selama 10 minggu dapat dilihat pada Gambar IV.15 dimana A, B, C dan D menunjukkan hasil SEM pada perbesaran 100x, 500x, 1500x dan 3000x, sedangkan E menunjukkan hasil spektrum EDX pada perbesaran 3000x. Pada Ni 100 mesh dengan MMY setelah dilakukan percobaan selama 10 minggu, hasil dari SEM membuktikan adanya pembentukan biofilm pada permukaan

anoda. Pada Gambar IV.13 A, B, C dan D menunjukkan permukaan Ni 100 mesh sebelum pembentukan biofilm, sedangkan pada Gambar IV.15 A, B, C dan D menunjukkan permukaan Ni 100 mesh setelah 10 minggu percobaan dan terlihat adanya pembentukan biofilm.

Tabel IV.7 Hasil uji SEM-EDX logam Ni 100 mesh terdiri dari Ni t₀, Ni t₄ (lokasi sampel) dan Ni t₁₀ (laboratorium)

Ni t ₀		Ni t ₄ ⁽¹⁾		Ni t ₁₀ ⁽²⁾	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
Ni	98,27	Ni	65,13	Ni	40,58
C	1,60	C	1,23	C	32,31
O	0,13	O	23,41	O	21,87
Total	100	Al	2,79	Al	0,21
		Na	1,55	Na	0,03
		Si	4,07	Si	0,33
		Mg	1,02	Mg	0,01
		Fe	0,79	Fe	0,36
		Total	100	S	2,18
				Ca	1,88
				Cl	0,21
				Total	100

Keterangan : (1) dari lokasi sampel
(2) dari laboratorium

Dari Tabel IV.7 dapat dilihat perbandingan hasil uji SEM-EDX pada Ni t₀ dengan kandungan unsur Ni (98,27%) mengalami penurunan setelah penanaman baik pada lokasi sampel maupun percobaan yang dilakukan di laboratorium. Setelah 4 minggu penanaman pada lokasi sampel dapat di ketahui kandungan unsur pada logam Ni t₄ yaitu Ni (65,13%), sedangkan pada percobaan setelah 10 minggu yang dilakukan di laboratorium kandungannya semakin menurun yaitu Ni (40,58%).

Tabel IV.8 Hasil uji SEM-EDX logam Ti 100 mesh terdiri dari Ti t_0 dan Ti t_{10} (laboratorium)

Ti t_0		Ti t_{10}	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
Ti	75,18	Ti	54,42
O	51,32	O	29,57
C	0,17	C	10,86
Ca	0,82	Ca	0,42
S	1,12	S	0,20
Total	100	Al	1,24
		Si	1,96
		Fe	1,32
		Mg	0,01
		Na	0,00
		Total	100

Dari Tabel IV.8 dapat dilihat perbandingan hasil uji SEM-EDX pada Ti t_0 dengan kandungan unsur Ti (75,18%) mengalami penurunan setelah 10 minggu percobaan yang dilakukan di laboratorium kandungannya semakin menurun yaitu Ti (54,42%).

Tabel IV.9 Hasil uji SEM-EDX *Carbon Cloth* terdiri dari *Carbon Cloth* murni dan *Carbon Cloth* t_{10} (laboratorium)

<i>Carbon Cloth</i> t_0		<i>Carbon Cloth</i> t_{10}	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
C	97,27	C	69,04
O	2,73	O	27,78
Total	100	Si	1,35
		Al	0,82
		Fe	0,82
		Ni	0,18
		Na	0,01
		Mg	0,00
		Total	100

Dari Tabel IV.9 dapat dibandingkan hasil uji SEM-EDX pada *Carbon Cloth* murni dengan kandungan unsur C (97,27%) mengalami degradasi setelah 10 minggu percobaan yang dilakukan di laboratorium kandungannya semakin menurun yaitu C (54,42%).

Tabel IV.10 Hasil Spektrum EDX penurunan persen berat unsur pada t_0 dan t_{10}

Selisih penurunan unsur elektroda t_0 dan t_{10}			
Unsur	t_0	t_{10}	wt. %
Δ Ti	75,18	54,42	27,61
Δ C	97,27	69,04	29,02
Δ Ni	98,27	40,58	58,71

Hasil spektrum EDX menjelaskan tentang kandungan kuantitatif berbagai macam unsur, terdapat tiga unsur pada Tabel IV.10 yaitu Ti, C dan Ni. Masing-masing unsur mewakili

elektroda Titanium, *Carbon Cloth* dan Nikel dengan persen penurunan unsur dari t_0 hingga t_{10} yaitu Ti (27,61%), C (29,02%) dan Ni (58,71%) . Dari data tersebut diketahui bahwa Titanium mengalami penurunan paling rendah sehingga memiliki ketahanan yang terbaik dibanding *Carbon Cloth* dan Nikel. Semakin besar selisih penurunan unsur maka akan mengakibatkan semakin menurun potensi listrik yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Area lumpur Lapindo yang paling baik yang digunakan untuk pemanfaatan lumpur Lapindo sebagai biolistrik dengan menggunakan *microbial fuel cells* (MFCs) adalah area pada sampel A.
2. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari pemanfaatan lumpur Lapindo pada penanaman di lokasi yang paling baik adalah area sampel A dengan tegangan listrik sebesar 163,83 Volt/m² dan arus listrik sebesar 0,01 A/m².
3. Elektroda yang paling baik diantara elektroda Ti, *Carbon Cloth* dan Ni untuk menghasilkan potensi energi listrik terbesar adalah Ti 100 mesh dengan tegangan listrik sebesar 86,63 Volt/m² dan arus listrik sebesar 0,005 A/m².
4. Potensi energi listrik yang dihasilkan dengan penambahan nutrien MMY lebih besar daripada Non-MMY.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, maka saran untuk penelitian kedepan:

1. Kestabilan pH pada penelitian yang dilakukan di laboratorium harus dijaga sehingga sebaiknya menggunakan pHmeter.
2. Perlu diperhatikan dalam penambahan nutrien ke dalam *chamber* agar lebih di homogenkan.
3. Pada penggunaan elektroda *Carbon Cloth* sebaiknya dilakukan *pre-treatment* dengan direndam di dalam larutan NaCl untuk menghilangkan udara (*bubble*) yang terjebak di dalamnya

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, H dan Irwan, N. (2014). Potensi Perolehan Energi Listrik dari Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Salt Bridge Microbial Fuel Cell. *J. Sains Dasar*, 3, 162-168.
- Arisandi, P. (2006). Menebar Bencana Lumpur di Kali Porong. *Ecological Observation and Wetlands Conservation*.
- Artadi, A. (2007). Penggunaan Grafit Batu Baterai Sebagai Alternatif Elektroda Spektrografi Emisi, *JFN*, 1, 2.
- Ashley, E. Franks dan Kelly, P. Nevin. (2010). Microbial Fuel Cells, A Current Review, *Energies* 2010, 3, 899-919.
- Bruce, G., Chang, I. S., Kim, B. H, Kim, M., Jang, J. K., Park, H. S., Kim, H. J. (2011) Operational parameters affecting the performance of a mediator-less microbial fuel cell. *Biosen Bioelect*, 18, 327–334.
- Campo, A. G., J. Lobato, P., Cañizares, Rodrigo, M., dan Morales, F. F. (2013). *Applied Energy* 101. Short-term effects of temperature and COD in a microbial fuel cell, 213-217.
- Chae, K. J., Choi, M. J., Lee, J. W., Kim, K. Y., dan Kim, I. S. (2009). *Bioresource Technology* 100 . Effect of different substrates on the performance, bacterial diversity, and bacterial viability in microbial fuel cells, 3518–3525.
- Davis, F. dan Higson, S. P. J. (2007). Biofuel cells—Recent advances and applications, *Biosensors and Bioelectronics*, 22, 1224–1235
- Du, Z., Li, H., Gu, T. (2008). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy, *Biotechnology Advances*, 25, 464–482.
- Fernando, S. dan Garcia, E. (2011). *Waste Water - Treatment and Reutilization*. India: InTech.

- Gil, G.C., Chang, I.S., Kim, B.H., Kim, M., Jang, J.K., Park, H.S., Kim, H.J. (2010). Operational parameters affecting the performannce of a mediator-less microbial fuel cell. *Biosens. Bioelectron*, 18, 327–334.
- Ieropoulos, I., Melhuish, C., Greenman, J. and Horsfield, I. (2005). EcoBot-II: An artificial agent with a natural metabolism. *Journal of Advanced Robotic Systems*, 2 (4), 295-300.
- Januarita R, Azizah A, Ulfa A W A, Syahidah H, Samudro G. (2016). MFCs 2 In 1 : Microbial Fuel Cells Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik (Alternatif : Limbah Isi Rumen Sapi Dengan Pengaruh Variasi COD dan pH). *Artikel Ilmiah-Universitas Diponegoro*, 5.
- Juniawan, A., Rumhayati, B. dan Ismuyanto, B. (2013). Karakteristik Lumpur Lapindo dan Fluktuasi Logam Berat Pb dan Cu pada Sungai Porong dan Aloo. *Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Brawijaya Malang*.
- Nair, R., Renganathan, K., Barathi, S., Venkatraman, K. (2013). Performance of salt-bridge microbial fuel cell at various agarose Concentrations using hostel sewage waste as substrate. *International Journal of Advancements in Research & Technology*, Vol. 2,5,326, ISSN 2278-7763
- Nevin K. P., Kim B-C, Glaven R. H., Johnson J. P., Woodard T. L., Methé B. A. (2009) Anode Biofilm Transcriptomics Reveals Outer Surface Components Essential for High Density Current Production in *Geobacter sulfurreducens* Fuel Cells. *PLoS ONE* 4(5): e5628.
- Liu. (2008). Microbial Fuel Cell: Novel Anaerobic Biotechnology for Energy Generation from Waste Water. *Anaerobic Boitecnology for Bioenergy Production: Principles and Aplications*, 221-243.
- Logan B.E, Murano C, ScottK,Gray ND, Head IM. (2005). Electricity generationfrom cysteine in a microbial fuel cell. *Water Res*, 39, 942–52.

- Logan, B.E. dan Regan, J.M. (2006). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells, *TRENDS in Microbiology* Vol.14 No.12, 512 – 518.
- Logrono, E. S., J. Dolfing, K. Scott, S. R. Edwards, C. Jones, T. P. Curtis. (2013). “Production of hydrogen from domestic wastewater in a pilot-scale microbial electrolysis cell”. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 97 (15): 6979–6989.
- Lovely, D.R. (2006). Bug juice: harvesting electricity with microorganisms. *Nat Rev/Microbiol*, 4, 497-508.
- Luisa, David; Ruud A. Timmers, Marjolein Helder, Kirsten J.J. Steinbusch, Hubertus V.M. Hamelers, Cees J.N. Buisman. (2015). “Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms”. *Trends in Biotechnology*, 29, 41–49.
- Manurung, R. (2004). Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit. *e-USU Repository*, 7.
- Mohan, S. V., Raghavulu, S. V., dan Sarma, P. (2008). *Biosensors and Bioelectronics* 24. Influence of anodic biofilm growth on bioelectricity production in single chambered mediatorless microbial fuel cell using mixed anaerobic consortia, 41–47.
- Pant, Deepak, Van Bogaert, Gilbert, Diels, Ludo, Vanbroekhoven, Karolien. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production , *Bioresource Technology*, 101, 1533-1543.
- Park, D.H. and Zeikus, J.G. (2003) Improved fuel cell and electrode designs for producing electricity from microbial degradation. *Biotechnol. Bioeng.* 81, 348–355.
- Puig S, Serra M, Coma M, Cabre M, Balaguers M, Dolors C J. (2010). Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production Using Microbial Fuel Cells. *Bioresource Technology Journal*, 9594-9599.

- Reddy, L.V., Kumar, S.P. dan Wee, Y.J. (2010). Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology A. Méndez Vilas, 956 – 964.
- Santoso, A. D. (2008). Studi Penentuan Produktivitas Danau Buatan dengan MEI (Morphoedaphic Index) Analysis. J. Hidrosfir Indonesia, 3 (2), 81-86, I SSN 1907-1043.
- Sevda, S., Dominguez-Benetton, X., Vanbroekhoven, K., De Wever, H., Sreekrishnan, T.R., Pant, D. (2013). High strength wastewater treatment accompanied by power generation using air cathode microbial fuel cell, Applied Energy, 105, 194–206
- Silberberg, M. and Amateis, P. (2015). Loose Leaf for Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change 7th Edition.
- Singh, D., Pratap, D., Baranwal, Y., Kumar, B. dan Chaudhary, R.K. (2010). Microbial fuel cells: A green technology for power generation, Annals of Biological Research, 1, 3, 128-138. 16.
- Sunshine, Justin C., Ray, Ricky, Little, Brenda, Ringeisen dan Bradley, R. (2014). “Diversifying Biological Fuel Cell Design by Use of Nanoporous Filters”. Environmental Science and Technology, 41 (4), 1444–49.
- Usman, E., Salahuddin, M., Ranawijaya DAS., dan Hutagaol, J. P. (2006). Paper Pendukung, Simposium Nasional: Pembuangan Lumpur Porong-Sidoarjo ke Laut? Surabaya.
- Voutou, B. & Stefanaki, E. C., (2008). Electron Microscopy The Basics. Physics of Advanced Materials Winter School, pp. 7-8.
- Waluyo, L. (2005). Mikrobiologi Umum. UMM Press.
- Wang, H., Park, J.D. dan Ren, Z.J. (2015). Practical Energy Harvesting for Microbial Fuel Cells: A Review, Environ. Sci. Technol, 49, 3267–327
- Wiharti, Riyanto dan Noor Fitri. 2014. Aplikasi Metode Elektrolisis Menggunakan Elektroda Platina (Pt), Tembaga (Cu) dan Karbon (C) untuk Penurunan Kadar Cr dalam

- Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit di Desa Sitimulyo, Piyungan, Bantul, Yogyakarta. Jurusan Ilmu Kimia, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Xuboujun, Fei, He, Zhen, Ge, Zheng (2015). "Using Microbial Fuel Cells to Treat Raw Sludge and Primary Effluent for Bioelectricity Generation". Department of Civil Engineering and Mechanics; University of Wisconsin - Milwaukee.
- Yuanina, Y. Nakajima, M. Ahmad, M.R. Kojima, S. Hommac, M. & Fukuda, T. (2002). Effect of ambient humidity on the strength of the adhesion force of single yeast cell inside environmental-SEM. Ultramicroscopy, Vol.111, No .8.

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
T	Suhu	°C
V	Volume	ml
m	Massa	gr
M	Molaritas	M
V	Tegangan Listrik	V/m ²
I	Arus Listrik	A/ m ²
P	Daya	Watt
Salinitas	Salinitas	µs/cm
pH	Derajat Keasaman	-
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>	ppm
BOD ₅	<i>Biological Oxygen Demand</i>	mg/L
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>	mg/L
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>	mg/L

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PEMBUATAN LARUTAN, JUMLAH BAKTERI DAN POWER DENSITY

A1. Membuat NaOH 0,5 mol/L

Perhitungan menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}\text{Molaritas} &= \frac{\text{Massa NaOH}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{Volume}} \\ 0,5 &= \frac{\text{Massa NaOH}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{Volume}} \\ \text{Massa NaOH} &= 20gr\end{aligned}$$

A2. Membuat 0,1% (w/v) glukosa dan yeast extract

Volume = 500 mL

Maka, setiap 0,1 gr/mL

$$\text{Berat Glukosa} = \frac{\text{Massa NaOH}}{Mr} \times \frac{1000}{\text{Volume}}$$

$$\text{Berat Glukosa} = 0,5gr$$

$$\text{Berat Yeast Extract} = \text{Berat Glukosa} = 20gr$$

A3. Menghitung Jumlah Sel

Prosedur :

- Sampel lumpur diambil dan ditimbang sebanyak 1 gr.
- Lumpur dimasukkan ke erlenmeyer dan ditambahkan aquades kemudian dilakukan pengenceran lagi hingga 6x.
- Sampel diambil dengan menggunakan pipet tetes untuk ditetaskan diatas permukaan *Haemacytometer*.
- *Haemacytometer* dilakukan dibawah lensa mikroskop dengan pembesaran 400X.
- Pengamatan dilakukan untuk sampel Lumpur Lapindo Sidoarjo pada tanggal 29 januari 2017 didapat:

Kotak 1 = 18

Kotak 2 = 4

Kotak 3 = 3

Kotak 4 = 3

Kotak 5 = 1

29 sel/kotak

Volume Kotak = luas kotak x kedalaman kotak

Volume Kotak = $\frac{1}{25} \text{ mm}^2 \times \text{kedalaman kotak}$

Volume Kotak = $0,004 \text{ mm}^3 / \text{kotak}$

Jumlah sel $\left(\frac{\text{sel}}{\text{gr}}\right) = \frac{29\text{sel}}{5\text{kotak}} = 5,8 \text{ sel/kotak}$

Jumlah Sel $\left(\frac{\text{sel}}{\text{gr}}\right) = \frac{\text{Jumlah sel/kotak}}{\text{Volume kotak} \text{ mm}^3} \times \text{konversi} \times \text{faktor}$
pengenceran

Jumlah Sel $\left(\frac{\text{sel}}{\text{gr}}\right) = \frac{5,8 \text{ sel/kotak}}{0,004 \text{ mm}^3 / \text{kotak}} \times 1000 \text{ mm}^3 / \text{gr} \times 10^6$

Jumlah sel $\left(\frac{\text{sel}}{\text{gr}}\right) = 1,45 \times 10^{12} = 1.450.000 \times 10^6 \text{ sel/gr}$

A4. Menghitung Power Density (Watt/m²)

Dengan menggunakan rumus Hukum Ohm yaitu $P = V \times I$.

Data yang didapat dari pengukuran dengan variabel Lumpur Lapindo Sidoarjo 29 januari 2017.

- Menghitung Arus Listrik (A)

Diketahui dari hasil pengamatan didapatkan nilai voltage (V) = 296 (mV/20cm²) di konversi menjadi (V/m²).

$$(V) = 296 \left(\frac{\text{mV}}{40\text{cm}^2} \right) \times \left(\frac{10000\text{cm}^2}{\text{m}^2} \right) \times \left(\frac{\text{V}}{1000\text{mV}} \right)$$

$$(V) = 74 \text{ V/m}^2$$

dengan resistor sebesar 1000 Ω. Sehingga nilai arus listrik dapat dihitung.

Keterangan : karena ada 2 elektroda pada anoda yang diukur dan memiliki 4 sisi luasan maka dibagi 40 cm².

menggunakan rumus :

$$V = R \times I$$

$$74 = 1000 \times I$$

Didapatkan nilai I sebesar 0,074 (A/m²)

- Menghitung *Power Density* (P)

Dari perhitungan diatas diketahui nilai V = 74 (V/m²) dan nilai I = 0,074 (A/m²) sehingga nilai P dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P = V \times I$$

$$P = 74 \text{ (V/m}^2\text{)} \times 0,074 \text{ (A/m}^2\text{)}$$

$$P = 5,476 \text{ (Watt/m}^2\text{)}$$

A5. Mengukur BOD₅ (*Biochemical Oxygen Demand*)

- Memisahkan air dari lumpur menggunakan *centrifuge* hingga 10 mL.
- Diambil 10 mL sampel air yang telah di *centrifuge*, diencerkan dengan aquadest hingga 250 mL dan dimasukkan kedalam botol *winkler*.
- Akuades 250 mL digunakan sebagai pembading dimasukkan ke dalam botol Winkler.
- Diukur kadar DO_{t0} nya menggunakan DO meter dan di catat juga suhunya.
- Disimpan didalam inkubator sampai 5 hari kemudian dilakukan pengukuran kembali dicatat.
- Menghitung BOD:

Diketahui dari hasil pengukuran DO meter pada sampel

$$DO_{t0} = 2,493 \text{ mg/L dan } DO_{t5} = 1,58 \text{ mg/L}$$

Diketahui dari hasil pengukuran DO meter pada Aquades

$$DO_{t0} = 2,71 \text{ mg/L dan } DO_{t5} = 4,530 \text{ mg/L}$$

$$BOD = (DO_{t0 \text{ sampel}} - DO_{t5 \text{ Aquades}}) + \left(\frac{250 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) \times (DO_{t5 \text{ sampel}} - DO_{t5 \text{ Aquades}})$$

$$BOD = (2,493 - 1,58) + \left(\frac{250 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} \right) \times (4,53 - 1,58)$$

$$BOD = 71,713 \text{ mg/L}$$

APPENDIKS B

HASIL PERHITUNGAN ELEKTRODA Ti, CARBON CLOTH , Ni DAN HASIL PENGUJIAN SEM-EDX

B.1 Hasil Pengukuran di *Sampling Site*

Tabel B.1 Hasil pengukuran data tegangan listrik (mV/20cm²) pada area A, area B dan area C.

Periode (Minggu)	<i>Sampling Site</i>											
	A (mV/20cm ²)				B (mV/20cm ²)				C (mV/20cm ²)			
	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	298	295	295	296,00	250	253,4	254	252,47	242	241,3	243	242,10
1	320	319	317,3	318,77	293	294	292	293,00	292	268	277	279,00
2	327	325	331	327,67	283	284,5	285	284,17	298	299,4	299,6	299,00
3	250	262	255	255,67	213	189	206	202,67	152	138	164	151,33
4	289	301	296	295,33	236	227	241	234,67	206	197	213	205,33

Tabel B.2 Hasil pengukuran data Arus listrik (mA/20cm²) pada area A, area B dan area C.

Periode (Minggu)	<i>Sampling Site</i>											
	A (mA/20cm ²)				B (mA/20cm ²)				C (mA/20cm ²)			
	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
3	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01

B.2 Hasil Pengukuran di Laboratorium

Tabel B.3 Hasil pengukuran data tegangan listrik (mV/40cm²) untuk elektroda Ti dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode	Ti 100 mesh							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
(Minggu)	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	218,10	218,20	218,30	218,20	112,00	98,00	108,00	106,00
1	346,30	346,60	346,70	346,53	256,50	265,70	263,80	262,00
2	253,00	247,00	249,00	249,67	187,00	197,00	193,00	192,33
3	182,00	177,00	186,00	181,67	133,00	128,00	131,00	130,67
4	199,50	199,00	200,00	199,50	74,20	75,60	80,30	76,70
5	203,00	206,00	204,00	204,33	42,00	37,00	38,00	39,00
6	198,00	211,00	207,00	205,33	33,00	32,00	33,00	32,67
7	204,00	206,00	204,00	204,67	30,00	31,00	33,00	31,33
8	165,00	163,00	166,00	164,67	32,00	34,00	31,00	32,33
9	179,00	182,00	180,00	180,33	35,00	33,00	36,00	34,67
10	219,00	220,00	218,00	219,00	41,00	38,00	39,00	39,33

Tabel B.4 Hasil pengukuran data tegangan listrik (mV/40cm²) untuk elektroda *Carbon Cloth* dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode	<i>Carbon Cloth (Crabon Felt GF-20)</i>							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
(Minggu)	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	41,20	40,90	40,70	40,93	1,50	1,30	1,30	1,37
1	74,10	178,50	175,60	142,73	162,70	163,80	166,10	164,20
2	125,00	118,00	123,00	122,00	114,00	111,00	113,00	112,67
3	128,00	130,00	132,00	130,00	104,00	103,00	106,00	104,33
4	76,00	80,00	78,00	78,00	14,20	17,00	15,50	15,57
5	197,00	186,00	195,00	192,67	30,00	26,00	29,00	28,33
6	238,00	236,00	239,00	237,67	43,00	37,00	39,00	39,67
7	127,00	130,00	126,00	127,67	35,00	38,00	42,00	38,33
8	40,00	41,00	40,00	40,33	27,00	30,00	22,00	26,33
9	123,00	119,00	120,00	120,67	31,00	29,00	31,00	30,33
10	77,00	79,00	75,00	77,00	34,00	28,00	31,00	31,00

Tabel B.5 Hasil pengukuran data tegangan listrik (mV/40cm²) untuk elektroda Ni dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode (Minggu)	Ni 100 mesh							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	53,20	57,40	58,10	56,23	20,50	19,70	21,50	20,57
1	119,60	120,10	118,30	119,33	85,90	90,80	88,60	88,43
2	109,00	112,00	107,00	109,33	120,00	118,00	119,00	119,00
3	108,00	105,00	107,00	106,67	106,00	112,00	109,00	109,00
4	78,00	79,00	77,00	78,00	55,00	47,00	52,00	51,33
5	38,00	33,00	35,00	35,33	44,00	36,00	37,00	39,00
6	26,00	27,00	28,00	27,00	24,00	28,00	30,00	27,33
7	30,00	27,00	29,00	28,67	26,00	25,00	23,00	24,67
8	10,50	12,00	29,00	17,17	24,00	23,00	26,00	24,33
9	13,00	12,00	14,00	13,00	23,00	25,00	24,00	24,00
10	25,00	27,00	26,00	26,00	24,00	23,00	23,00	23,33

Tabel B.6 Hasil pengukuran data Arus (mA/40cm²) untuk elektroda Ti dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode (Minggu)	Ti 100 mesh							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
2	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
3	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
6	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
7	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
8	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
9	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
10	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01

Tabel B.7 Hasil pengukuran data Arus (mA/40cm²) untuk elektroda *Carbon Cloth* dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode	<i>Carbon Cloth (Crabon Felt GF-20)</i>							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
(Minggu)	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
1	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
2	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
6	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
7	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
8	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
9	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
10	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01

Tabel B.8 Hasil pengukuran data Arus (mA/40cm²) untuk elektroda Ni dengan penambahan nutrisi MMY dan tidak ditambahkan nutrisi Non-MMY.

Periode	Ni 100 mesh							
	MMY (mV/40cm ²)				Non MMY (mV/40cm ²)			
(Minggu)	Pengukuran			Rata-rata	Pengukuran			Rata-rata
0	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
1	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
2	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
9	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

B.3 Hasil Pengujian SEM-EDX

Tabel B.9 Hasil pengujian SEM-EDX untuk elektroda Nikel (Ni) 100 mesh pada *Sampling Site* minggu ke-0 sampai minggu ke -4.

Ni t ₀		Ni t ₄ <i>Sampling Site</i>	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
Ni	98,27	Ni	65,13
C	1,60	O	23,41
O	0,13	Si	4,07
Total	100	Al	2,79
		Na	1,55
		C	1,23
		Mg	1,02
		Fe	0,79
		Total	100

Tabel B.10 Hasil pengujian SEM-EDX untuk elektroda Titanium (Ti) 100 mesh pada Laboratorium minggu ke-0 sampai minggu ke-10.

Ti t ₀		Ti t ₁₀	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
Ti	75,18	Ti	54,42
O	51,32	O	29,57
S	1,12	C	10,86
Ca	0,82	Si	1,96
C	0,17	Fe	1,32
Total	100	Al	1,24
		Ca	0,42
		Si	0,20
		Mg	0,01
		Na	0,00
		Total	100

Tabel B.11 Hasil pengujian SEM-EDX untuk elektroda *Carbon Cloth* pada Laboratorium minggu ke-0 sampai minggu ke-10.

<i>Carbon Cloth t₀</i>		<i>Carbon Cloth t₁₀</i>	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
C	97,27	C	69,04
O	2,73	O	27,78
Total	100	Si	1,35
		Al	0,82
		Fe	0,82
		Ni	0,18
		Na	0,01
		Mg	0,00
		Total	100

Tabel B.12 Hasil pengujian SEM-EDX untuk elektroda Nikel (Ni) 100 mesh pada Laboratorium minggu ke-0 sampai minggu ke-10.

Ni t-0		Ni t-10	
Unsur	Normal (% Berat)	Unsur	Normal (% Berat)
Ni	98,27	Ni	40,58
C	1,60	C	32,31
O	0,13	O	21,87
Total	100	S	2,18
		Ca	1,88
		Fe	0,36
		Si	0,33
		Cl	0,25
		Al	0,21
		Na	0,03
		Mg	0,01
		Total	100

APPENDIKS C DOKUMENTASI PERCOBAAN

C.1 Pemilihan Area percobaan di lokasi Lumpur Lapindo Porong Sidoarjo

C.1.1 Area A Lumpur Lapindo



Koordinat : S 7°30'42.0804" E 112°42'29.2968"

Gambar C.1 Penanaman dan pengukuran sampel di area A
C.1.2 Area B Lumpur Lapindo



Koordinat = S 7°30'45.6984"E 112°42'39.852"

Gambar C.2 Penanaman dan pengukuran sampel di area B

C1.3 Area C Lumpur Lapindo



Koordinat = S 7°30'44.8956"E 112°42'42.2784"

Gambar C.3 Penanaman dan pengukuran sampel di area C

C.2 Persiapan Percobaan di Laboratorium



Gambar C.4 Pengambilan sampel di Area A untuk percobaan di laboratorium



Gambar C.5 Persiapan Chamber dan Elektroda yang telah dirangkai



Gambar C.6 Proses memasukkan lumpur Lapindo sebagai media ke dalam *chamber*



Gambar C.7 Rangkaian sistem *MFCs*

LAPORAN HASIL UJI

No. 3158/17/LHU/2/VI/2017

Nomor Analisa : 2017P3158
Contoh : Cairan Lumpur Lapindo
Merk : -
Diterima Tanggal : 07 Juni 2017
Catatan Sampel : 250 ml air lumpur dalam botol

Nama Pengirim : Hudha Habshi

Alamat : Jl. Kupang Panjaan Gg 2 No. 47 Surabaya
- Jawa Timur

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
BOD ₅	mg/L	61.49	SNI 6989.72 : 2009
COD	mg/L	527.48	SNI 6989.2 : 2009
Total Organik Carbon (TOC)	mg/L	35.73	SNI 06-6989.28-2005

Catatan:

- Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 21 Juni 2017

**Laboratorium
Kimia dan Lingkungan**



B. Riza Utami
Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 197808232005022001

LAPORAN HASIL UJI

No. 2322/17/LHU/2N/2017

Nomor Analisa : 2017P2322
Contoh : Air Lumpur Lapindo
Merk : Ti ($t = 10$)
Diterima Tanggal : 08-Mei-2017
Catatan Sampel : 250 ml air lumpur dalam botol

Nama Pengirim : Hudha Habshi

Alamat : Jl. Kupang Panjaan Gg 2 No. 47 Surabaya
– Jawa Timur

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
BOD ₅	mg/L	38.01	SNI 6989.72 : 2009
COD	mg/L	255.36	SNI 6989.2 : 2009
Total Organik Carbon (TOC)	mg/L	30.72	SNI 06-6989.28-2005

Catatan:

- Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 16-Mei-2017

Penyelia Teknik
Laboratorium Kimia (lingkungan)



Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT

NIP. 197808232005022001

ORIGINAL
ASLI

LAPORAN HASIL UJI

No. 2321/17/LHU/2/V/2017

Nomor Analisa : 2017P2321
Contoh : Air Lumpur Lapindo
Merk : Cc (t=10)
Diterima Tanggal : 08-Mei-2017
Catatan Sampel : 250 ml air lumpur dalam botol

Nama Pengirim : Hudha Habshi

Alamat : Jl. Kupang Panjaan Gg 2 No. 47 Surabaya
- Jawa Timur

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
BOD ₅	mg/L	43.96	SNI 6989.72 : 2009
COD	mg/L	479.85	SNI 6989.2 : 2009
Total Organik Carbon (TOC)	mg/L	28.86	SNI 06-6989.28-2005

Catatan:

- Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 16-Mei-2017
Laboratorium
Kimia dan Lingkungan

Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 197808232005022001

LAPORAN HASIL UJI

No. 2323/17/LHU/2/N/2017

Nomor Analisa : 2017P2323
Contoh : Air Lumpur Lapindo
Merk : Ni (t = 10)
Diterima Tanggal : 08-Mei-2017
Catatan Sampel : 250 ml air lumpur dalam botol

Nama Pengirim : Hudha Habshi

Alamat : Jl. Kupang Panjaan Gg 2 No. 47 Surabaya
– Jawa Timur

Parameter Uji	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
BOD ₅	mg/L	34.01	SNI 6989.72 : 2009
COD	mg/L	515.56	SNI 6989.2 : 2009
Total Organik Carbon (TOC)	mg/L	31.46	SNI 06-6989.28-2005

Catatan:

- Parameter uji sesuai dengan permintaan

Surabaya, 16-Mei-2017

Laboratorium
Kimia dan Lingkungan



Ardhaningtyas Riza Utami, ST, MT
NIP. 197808232005022001

ORIGINAL
ASLI

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Hudha Habshi, dilahirkan di Surabaya 27 Mei 1994, merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK Eka Dharma Surabaya, SDN Dr. Sutomo I/323 Surabaya, SMP Negeri 10 Surabaya, SMA Negeri 21 Surabaya,

D3 Teknik Kimia FTI-ITS, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 2315105014. Di Departemen Teknik Kimia penulis mengambil bidang studi Pengolahan Limbah Industri, penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “ Pra Desain Pabrik *Portland Composite Cement* (PCC) Menggunakan Cangkang Kerang Sebagai Bahan Baku Alternatif dengan Proses Kering” dan skripsi dengan judul “Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Biolistrik Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs)” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik.

Email : hudhahabshi@gmail.com

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Ibnu Rozi, dilahirkan di Sidoarjo 03 Mei 1994, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai dari TK MINU Waru 2 Sidoarjo, SDN Waru IV Sidoarjo, SMP Negeri 3 Waru Sidoarjo, SMA Bhayangkari 1 Sidoarjo, D3

Teknik Kimia FTI-ITS, penulis diterima di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 2315105012. Di Departemen Teknik Kimia penulis mengambil bidang studi Pengolahan Limbah Industri, penulis telah menyelesaikan tugas pra desain pabrik dengan judul “ Pra Desain Pabrik *Portland Composite Cement* (PCC) Menggunakan Cangkang Kerang Sebagai Bahan Baku Alternatif dengan Proses Kering” dan skripsi dengan judul “Pemanfaatan Lumpur Lapindo Sebagai Biolistrik Dengan Menggunakan *Microbial Fuel Cells* (MFCs)” menjadikan penulis sebagai Sarjana Teknik.

Email : ibnu.rozi86@gmail.com